

**ANÁLISIS DE DESGASTE DE LOS MARTILLOS DEL MOLINO BUHLER EN
ALIMENTOS POLAR COLOMBIA S.A.S**

JOSÉ LUIS ROMERO GALINDO

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C.
2016**

**ANÁLISIS DE DESGASTE DE LOS MARTILLOS DEL MOLINO BUHLER EN
ALIMENTOS POLAR COLOMBIA S.A.S**

JOSÉ LUIS ROMERO GALINDO

**Trabajo de Grado en la modalidad de Pasantía para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

Director

Jorge Andres García Barbosa

Codirector

Marco Alejandro Barreto

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C.
2016**

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
3. OBJETIVOS	10
3.1 GENERAL.....	10
3.2 ESPECÍFICOS.....	10
4. MARCO REFERENCIAL	11
5. DIAGNOSTICO DEL FENÓMENO DE DESGASTE	15
5.1 INSPECCIÓN VISUAL.....	15
5.2 MEDICIÓN DEL DESGASTE	16
5.3 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL.....	18
6. RELACION DEL DESGASTE CON LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL MOLINO	23
6.1 VERIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO	23
6.2 PRODUCCIÓN DEL MOLINO	26
6.3 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	27
7. PROPUESTAS.....	29
8. CONCLUSIONES.....	31
BIBLIOGRAFÍA.....	33
ANEXOS	34

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de Molino según Rango de Reducción	11
Tabla 2. Fotografías Estereoscopio	18
Tabla 3. Histórico de Mantenimiento.....	25
Tabla 4. Propiedades Zootecnia	28
Tabla 5. Proceso de Restauración Martillos Buhler	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Molino de Martillos Buhler.....	8
Figura 2. Histórico de Vida Útil Martillos Buhler	9
Figura 3. Desgaste de los Martillos	9
Figura 4. Partes Molino de Martillos.....	12
Figura 5. Collage Fotografías Inspección visual	15
Figura 6. Plano Guía Medición del Desgaste.....	16
Figura 7. Estereoscopio Dino-Lite Pro	17
Figura 8. Configuración de Material En Durómetro HH-411	19
Figura 9. Montaje Ensayo de Dureza.....	20
Figura 10. Zonas de Medición.....	21
Figura 11. Fotografía Ensayo Dureza	21
Figura 12. Montaje Martillo en Canal Ranurada.....	24
Figura 13. Panel de Control (Molino y Mezclador)	26
Figura 14. Curvas de Amperaje	27
Figura 15. Propiedades Manual de Operación	28

LISTA DE ANEXOS

Anexo A: Coeficiente de Desgaste K para diferentes tipos de desgaste.....	34
Anexo B: Medición del Desgaste.....	35
Anexo C: Informe Análisis Químico y Metalográfico.....	36
Anexo D: Ensayo de Dureza.....	37
Anexo E: Histórico de Operación Molino Buhler.....	40
Anexo F: Ficha Técnica Electrodo Revestido EutecTrode 680 CGS.....	52
Anexo G: Plano Martillo de Molienda Buhler.....	53
Anexo H: Cotización Tecnirol S.A.S Martillos para Molino Buhler.....	54

1. INTRODUCCIÓN

Un molino de martillos es un equipo muy versátil en cuanto a las variaciones de tamaño de grano que puede manejar y la granulometría que se puede obtener, razón por la cual está implementado en la empresa Alimentos Polar Colombia S.A.S. en su línea de producción de comida para mascotas, pero aun así, sigue siendo un equipo genérico que no está diseñado específicamente para un tipo de material y unas condiciones de operación específicas.

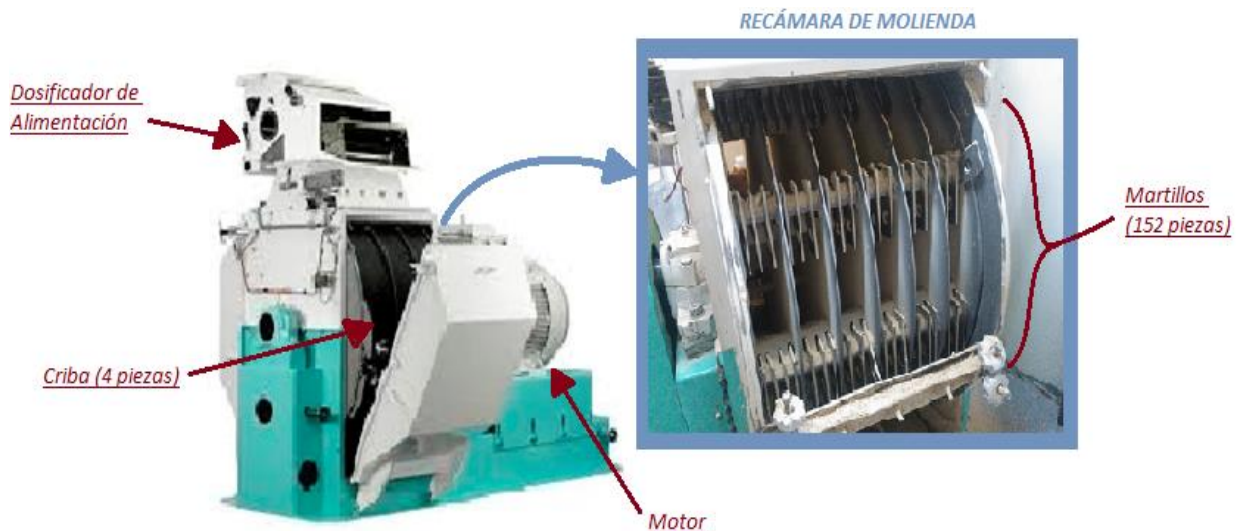
Los martillos son los encargados, junto con las cribas, de moler la materia prima que entra en la recámara de molienda, es por esto, que el desgaste en los martillos de molienda es normal por la misma forma en que está dado su funcionamiento, pero una disminución en la vida útil de estas piezas no es algo conveniente para la empresa. Los martillos son importados y su reemplazo tiene un elevado costo para la compañía, se tiene un valor de 3.931.325,33 COP por 152 martillos que corresponden a un montaje, y a esto se le suma otros gastos de mantenimiento, como el cambio de mangas para el filtro, el reemplazo semanal de las cribas y las acciones de limpieza, que aumentan el monto total para el sostenimiento del molino.

Es propicio realizar un análisis sobre el desgaste que están teniendo los martillos para otorgarle a la empresa un estudio que muestre, en primer lugar, que tipo de desgaste o desgastes tiene el martillo, y si es una falla del componente o una condición normal consecuencia de la operación del molino; y en segundo lugar, consolidar la información necesaria que a futuro permita buscar y comparar posibilidades de mejora de la vida útil de los martillos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

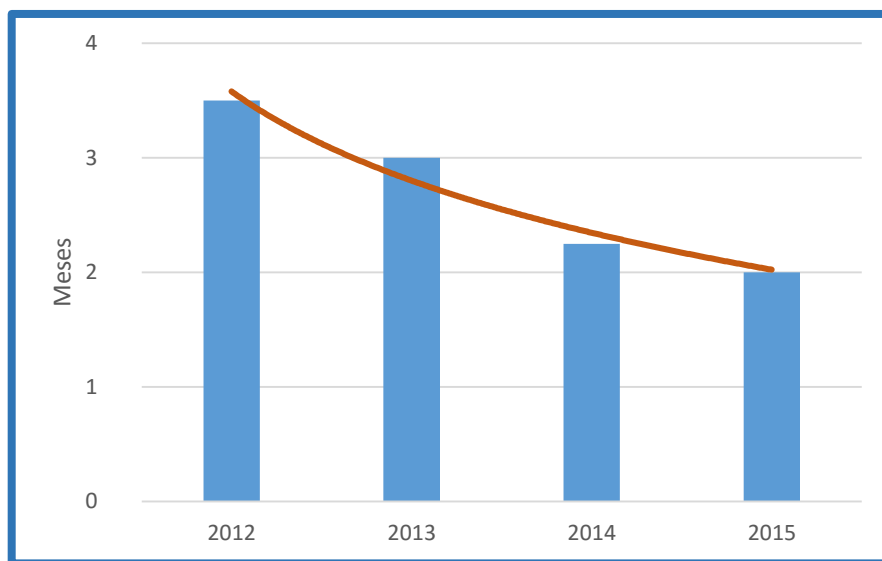
Los molinos de martillos son empleados en diferentes industrias para moler diversos tipos de materiales (tanto duros como frágiles), y este ha sido usado por la empresa Alimentos Polar Colombia S.A.S en su línea de producción de alimentos para mascotas como medio de homogenización granular de las materias primas que entran en la línea de proceso. La figura 1 muestra el molino de martillos Buhler utilizado en la empresa.

Figura 1. Molino de Martillos Buhler



Los martillos y la criba son los responsables de conseguir la molienda de las materias primas. Estas piezas están presentando un desgaste acelerado en un corto periodo de tiempo, de acuerdo al histórico de mantenimiento del equipo tomado de SAP (Sistemas, Aplicaciones y Productos). Como se observa en la figura 2, es evidente que el periodo de vida de estos elementos está disminuyendo sustancialmente; a partir del año 2013 y lo que va de este año 2015 se realiza el remplazo de martillos cada dos meses en promedio, mientras que el de la criba es semanalmente o cada 5 días (estos cambios son fluctuantes y se relacionan estrechamente con la producción de la planta y la operación del equipo). Cabe resaltar que el cambio de los martillos se realiza en su totalidad.

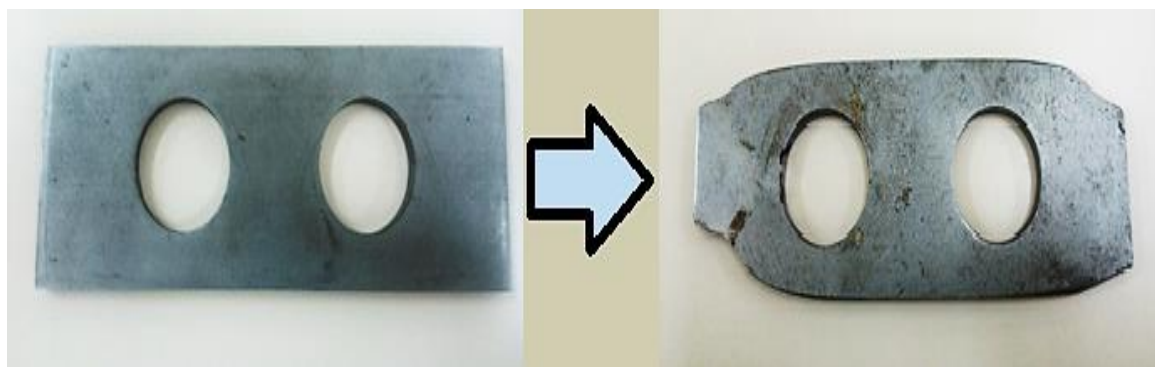
Figura 2. Histórico de Vida Útil Martillos Buhler



Fuente: Base de datos APC (SAP)

Como el desgaste de los martillos se ha acelerado en los últimos años, esto ocasiona en primer lugar, un aumento del número de paradas para ejecutar el respectivo mantenimiento del molino, causando además la disminución de la productividad del equipo; y en segundo lugar se genera un sobre costo al ser necesario cambiar los martillos en periodos de tiempo más cortos. La figura 3 muestra el desgaste presente en los martillos.

Figura 3. Desgaste de los Martillos



3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Analizar el desgaste de los martillos del molino Buhler durante la producción de comida para mascotas en Alimentos Polar Colombia S.A.S.

3.2 ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el fenómeno de desgaste presente en los martillos Buhler durante la molienda.
- Relacionar el tipo de desgaste en los martillos con las condiciones de operación durante la producción de alimentos para mascotas.

4. MARCO REFERENCIAL

La molienda es un proceso de reducción del tamaño de rocas, minerales y alimentos de manera similar a la trituración. Los productos obtenidos por molienda son más pequeños y de forma más regular que los surgidos de trituración. Generalmente se habla de molienda cuando se obtienen partículas con tamaños inferiores a 1in.

El proceso de molienda se emplea para la fabricación de cemento, en la preparación de combustibles sólidos pulverizados, escoria molida, harinas, alimentos balanceados, etc. Como este proceso está altamente implementado en la industria, también existe una amplia variedad de molinos que son capaces de realizar el trabajo.

Al existir diversos tipos de molinos según sus aplicaciones y alcances, a continuación se nombraran los más importantes [4]:

- Rulos y Muelas
- Discos
- Barras
- Bolas
- Rodillos
- Martillos

Tabla 1. Tipo de Molino según Rango de Reducción

Rango de reducción de tamaño	Nombre genérico del equipo	Tipo de equipo
Grueso e intermedio	Molinos de gruesos: "Crushers"	De rodillos
Intermedio y fino	Molinos de finos: "Mills o Grinders"	▪ De martillo ▪ Disco de atrición ▪ De rodillos
Fino y ultrafino	Molinos de ultrafinos: "Ultrafine grinders"	▪ De martillo ▪ De bolas

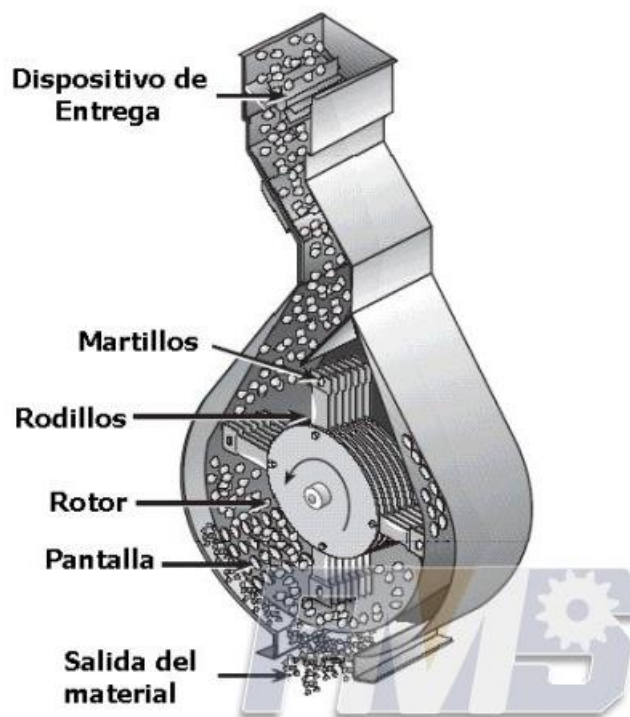
Fuente: www.criba.edu.ar

Los molinos de martillos son una herramienta altamente empleada en la industria para realizar la molienda de materiales duros y frágiles, consiguiendo tamaños de

grano de rango medio o fino según el proceso en el que este implementado y su objetivo principal, el cual puede ser, solo realizar la pulverización y/o la homogenización del grano.

El molino de martillos consiste de unos martillos fijos o pivotantes montados sobre un eje de rotación (el eje puede ser el mismo que transmite la potencia), una criba, y un sistema de asistencia de aire que protege al molino y ayuda a conducir el paso de producto por la criba. La figura 4 sirve como ilustración de las partes principales de un molino de matillos y como es el paso de producto [5].

Figura 4. Partes Molino de Martillos



Fuente: Formats Construction Machinery Co. Ltd.

El producto que es molido permanece en la recamara de molienda hasta que cumpla con el tamaño deseado y pueda pasar por los agujeros de la criba; es necesario acotar que los martillos no entran en contacto con la criba, existe una separación de 4 a 6 mm entre estas piezas. La velocidad de alimentación al molino se controla por medio de compuertas deslizantes, o con un tornillo como muestra la figura 4, nombrando esta pieza como dispositivo de entrega o dosificador.

La capacidad de molienda que tiene el molino depende de:

- Clase de materia prima a procesar (dimensiones y dureza)
- Tamaño de grano que se quiere obtener
- Potencia disponible
- Velocidad que alcanzan los martillos
- Humedad del producto

La molienda se lleva a cabo gracias al impacto del producto con los martillos, el corte con los filos del martillo y el rozamiento o fricción presente entre el producto, criba y martillos; estas son las tres formas en que se realiza la reducción del tamaño del producto simultáneamente al interior de la recámara de molienda.

Al estar los martillos sometidos a un contacto superficial con la materia prima que se desea moler, existe un desgaste en estos componentes al igual que en la criba, por lo cual es importante conocer que es el desgaste, y que tipos de desgaste podemos encontrar.

El desgaste es un efecto en la superficie de las piezas debido a su interacción con otro cuerpo o con el medio donde opera, trayendo como consecuencia variación en su forma y/o geometría, en su estructura, y en sus propiedades mecánicas y físicas así halla o no remoción de material [1].

Tipos de Desgaste:

- Desgaste Adhesivo
- Desgaste Abrasivo
- Desgaste Por Fatiga
- Corrosión
- Fretting
- Erosión
- Cavitación

Es bueno aclarar que se pueden presentar dos o más tipos de desgaste al tiempo y en algunos casos especiales uno se puede convertir en otro, por lo cual existen tres factores que inciden en el tipo de desgaste que se tiene y la magnitud del efecto que este puede alcanzar en la pieza.

- a. Condiciones de operación
- b. Características de los cuerpos en contacto
- c. Características del medio

La forma general de la ecuación de desgaste está basada en la relación desarrollada por Holm para contactos eléctricos y posteriormente modificada por Archard para desgaste en componentes mecánicos [2]. El volumen V es directamente proporcional a la distancia de deslizamiento d y la fuerza normal aplicada F_N , y es inversamente proporcional a la dureza de la superficie más suave H , ecuación (1).

$$V = K \frac{F_N}{H} d \quad (1)$$

La profundidad del desgaste puede ser expresada como, ecuación (2):

$$\delta = K \frac{F_N}{H} \times \frac{d}{A} \quad (2)$$

Donde A es el área de contacto y $V = \delta A$; El coeficiente de desgaste K es determinado mediante pruebas de laboratorio, en el Anexo A se encuentra una tabla con valores de K para diferentes tipos de desgaste según 'ASTM practicas estándar para pruebas de desgaste' y también los métodos de ensayo estándar para desgaste.

Cuando se tiene un determinado desgaste, este se puede convertir en una falla si y solo si, afecta el desempeño de la pieza en su operación, de lo contrario es sencillamente una consecuencia del funcionamiento normal del componente y ya debió haber estado contemplado por el fabricante y/o diseñador [6].

El análisis de desgaste está altamente relacionado con un análisis de falla, siendo inclusive varias de sus etapas de desarrollo iguales, por esta razón se empleara la bibliografía encontrada sobre el análisis de falla en componentes mecánicos como base de la metodología empleada en el desarrollo del proyecto [3].

5. DIAGNOSTICO DEL FENÓMENO DE DESGASTE

5.1 INSPECCIÓN VISUAL

Las siguientes son una serie de fotografías de los martillos desgastados, tal cual como son retirados del molino cuando ya se está aumentando el tiempo del lote de producción y/o el operario a cargo de la limpieza se da cuenta que tienen un desgaste excesivo.

Figura 5. Collage Fotografías Inspección visual



Lo primero que salta a la vista es el cambio de forma de la pieza a causa del desgaste (remoción de material); y si se detalla la zona del desgaste, se puede apreciar que se genera una concavidad en todas las puntas, es decir que no es uniforme el desgaste en cada filo de corte.

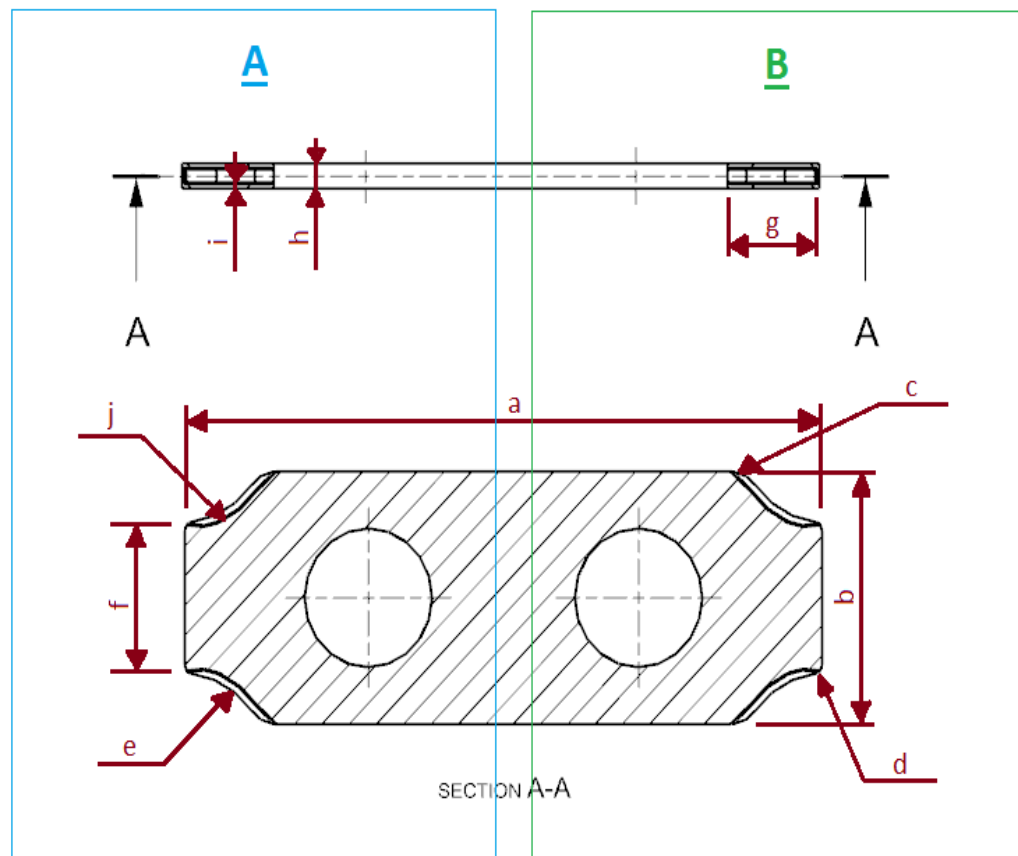
Una vez es limpiada la pieza no se ven rastros de corrosión en alguna parte de la superficie, por lo cual se descarta el desgaste corrosivo.

5.2 MEDICIÓN DEL DESGASTE

Se tomó una muestra de 20 martillos desgastados, y se realizó la medición de ciertas dimensiones que se vieron afectadas por el desgaste. Esto con el fin de poder manejar un promedio de hasta qué punto se ve afectada la pieza por el desgaste.

La siguiente imagen corresponde a un plano del martillo, donde se especifica en que puntos se tomaron las medidas. Es válido anotar que se dividió el martillo en dos zonas, A y B, debido a que este tiene 4 filos de corte. En cada zona se tomaron todas las medidas acotadas. El espesor de 6 mm se mantiene en todos los martillos.

Figura 6. Plano Guía Medición del Desgaste



Se utilizó un pie de rey y unas galgas de radios para tomar las medidas mostradas en la imagen. Los resultados encontrados se encuentran adjuntos en el anexo B. El tamaño de muestra era de 50 martillos (con una exactitud del 90% y un error del 10%) pero al ser el coeficiente de variación, CV, tan grande (esto ocurrió una vez se empezaron a tomar las medidas acotadas en la figura 6, obteniendo %CV menor a 1 en las medidas de alto, largo y ancho nada más, en las demás variaba desde 12 hasta un 143 por ciento), no tenía sentido realizar la medición con las 50 piezas, por esta razón, solo se tomaron 20.

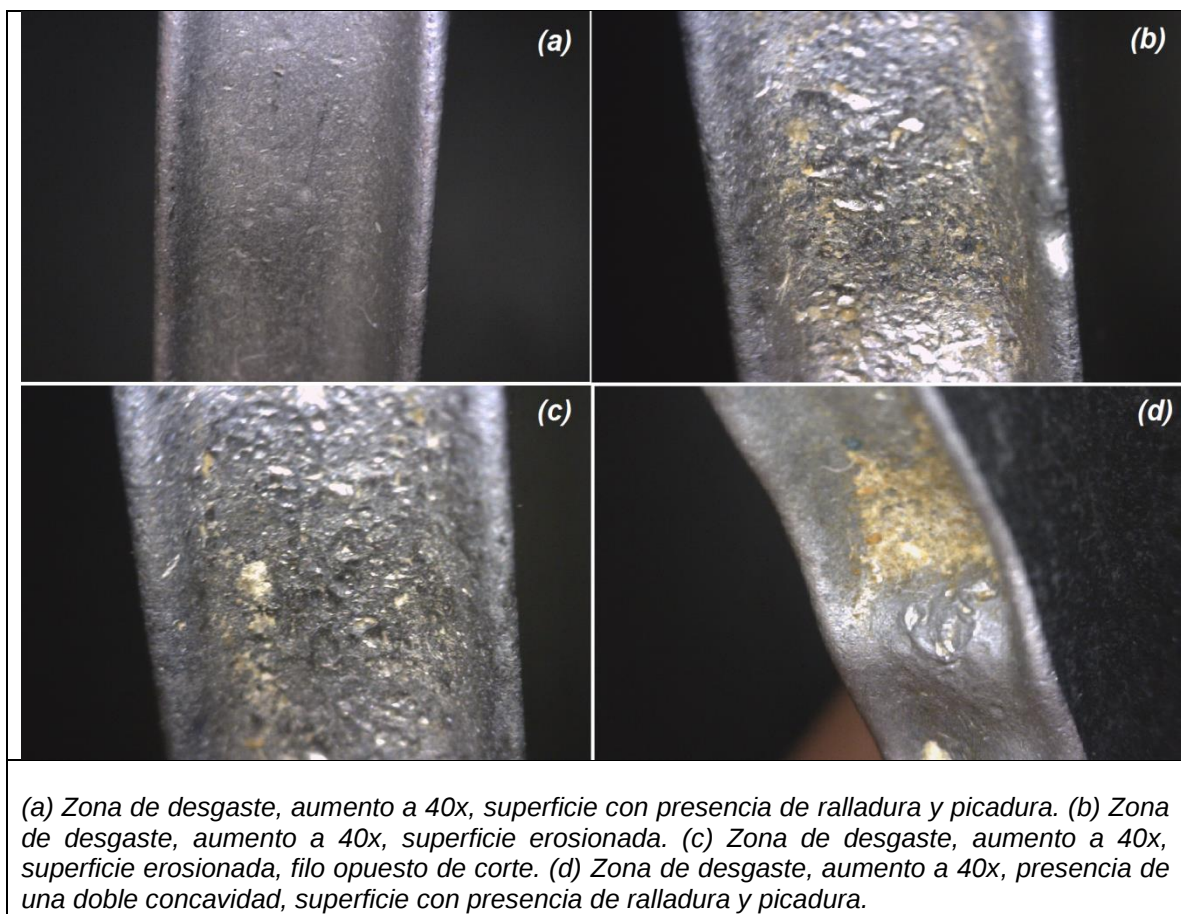
Con respecto a la variación del peso del martillo, se tiene según medición realizada en planta, que un martillo pesa **380 gramos**, con una variación de más o menos 2 gramos. Los martillos desgastados tienen un peso promedio de **332,4 gramos**, con una variación de más o menos 5 gramos. Con esto se tiene una remoción de material que corresponde al **12.5%** del peso total de la pieza.

Para obtener una visión más clara de la zona desgastada, se utilizó un Estereoscopio Dino-Lite Pro (disponible en la Universidad Santo Tomas), con el cual se pudo tomar imágenes con un aumento de 40x del área en cuestión. La figura 7 es una fotografía del estereoscopio empleado.

Figura 7. Estereoscopio Dino-Lite Pro



Tabla 2. Fotografías Estereoscopio



Estas fotografías dejan ver la formación de cráteres en la superficie desgastada, lo cual es una indicación clara de un desgaste de tipo erosivo. No se utilizó la ecuación de desgaste, ya que esta se puede emplear es con el desgaste de tipo abrasivo.

5.3 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

Se realizó un ensayo de metalografía y un análisis químico en los laboratorios de la Universidad Nacional, y un ensayo de dureza en los laboratorios de la Universidad Santo Tomas; con el fin de conocer las características del acero en que están fabricados los martillos.

Anexo se encuentra el documento emitido por la Universidad Nacional referente a la metalografía y el análisis químico realizado a un martillo, anexo C. Este informe nos revela que el material de los martillos es un acero de medio carbono, con un

temple y revenido para aumentar su dureza y aliviar tensiones; y también tienen un proceso de **cementación**, que permite aumentar la dureza superficial de los martillos, agregando mayor contenido de carbono. En la capa externa del martillo el análisis químico arroja que se consideraría un acero de alto carbono al llegar a un 0.68% de C. Esto explicaría la concavidad que se genera en los filos de corte del martillo. Ya que al tener diferentes durezas el núcleo del martillo con su superficie, el desgaste en esta zona no es uniforme.

El ensayo de dureza se muestra descrito a continuación.

Utilizando un Durómetro Portátil Mitutoyo HH-411 se realizó este ensayo. En primer lugar se efectuó la calibración del equipo según el tipo de material (configuración realizada en el set up del equipo). Para este caso se dejó la configuración de A1, Hierros y Aceros.

Figura 8. Configuración de Material En Durómetro HH-411

When conversion table is set, symbol is displayed and means following material
 Mark ▲ means measurable material with the specified detectors. No ▲ mark material's symbol is not displayed with the detectors.

Symbol	Material of specimen	Detector			
		D	DC	D+15	DL
A-1	Iron and steel	▲	▲	▲	▲
A-2	Alloy tool steels	▲	▲		
A-3	Gray iron	▲	▲		
A-4	Spherical graphite cast iron	▲	▲		
A-5	Stainless steel	▲	▲		
A-6	Tool steel with cold-work			▲	
b-1	Brass	▲	▲		
b-2	Casting copper based alloy	▲	▲		
b-3	Casting aluminum based alloy	▲	▲		
b-4	Copper and tin based alloy	▲	▲		

6-2

Este durómetro funciona gracias a un penetrador rebotante que deja una huella en el material, para calibrar este penetrador se tiene un bloque patrón donde se efectúa

el ensayo, esperando que se obtenga un resultado de 6,91 HV (Vickers); una vez se tiene este resultado, se puede comenzar el ensayo en la pieza deseada.

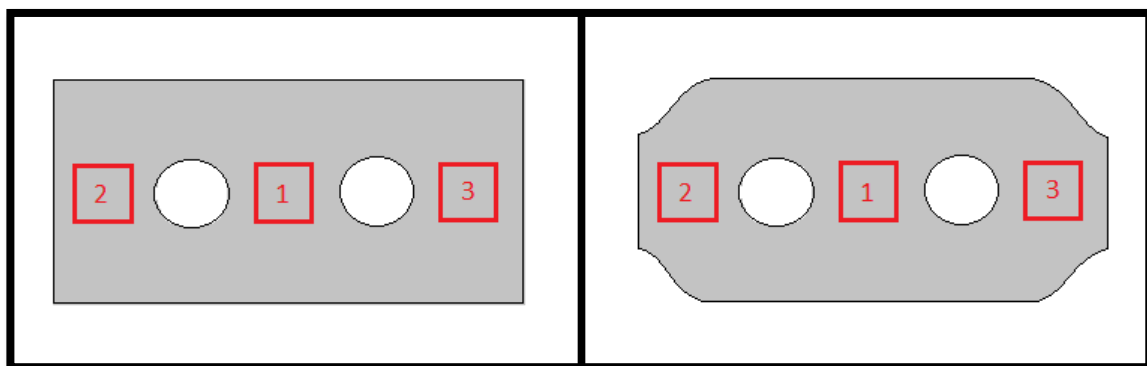
Se ubica el martillo en un bloque de sujeción magnético para evitar vibraciones en la pieza que puedan afectar la lectura. Figura 9.

Figura 9. Montaje Ensayo de Dureza



Se realizó el ensayo de dureza en un martillo nuevo y uno ya desgastado, con el fin de comparar si existe algún cambio en la dureza superficial de las piezas luego de la operación. Cada martillo se dividió en tres zonas, y se tomaron 10 datos de cada zona. Figura 10.

Figura 10. Zonas de Medición



La figura muestra como es el posicionamiento del penetrador, y su accionamiento mediante un botón ubicado en la parte superior.

Figura 11. Fotografía Ensayo Dureza



Los resultados del ensayo de dureza realizado están comprendidos en el anexo D. Con el ensayo de dureza se pudo determinar que: la dureza superficial del martillo es de **305 HB (32 HRC)**, propiedad que cambia durante la operación, ya que al realizar la medición en los martillos ya desechados se tiene un resultado de **340 HB (37 HRC)**, este cambio puede obedecer a un endurecimiento por impacto, ya que la temperatura alcanzada dentro de la recámara de molienda no supera los 70°C, por lo cual no es suficiente para un cambio de fase del acero.

6. RELACION DEL DESGASTE CON LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL MOLINO

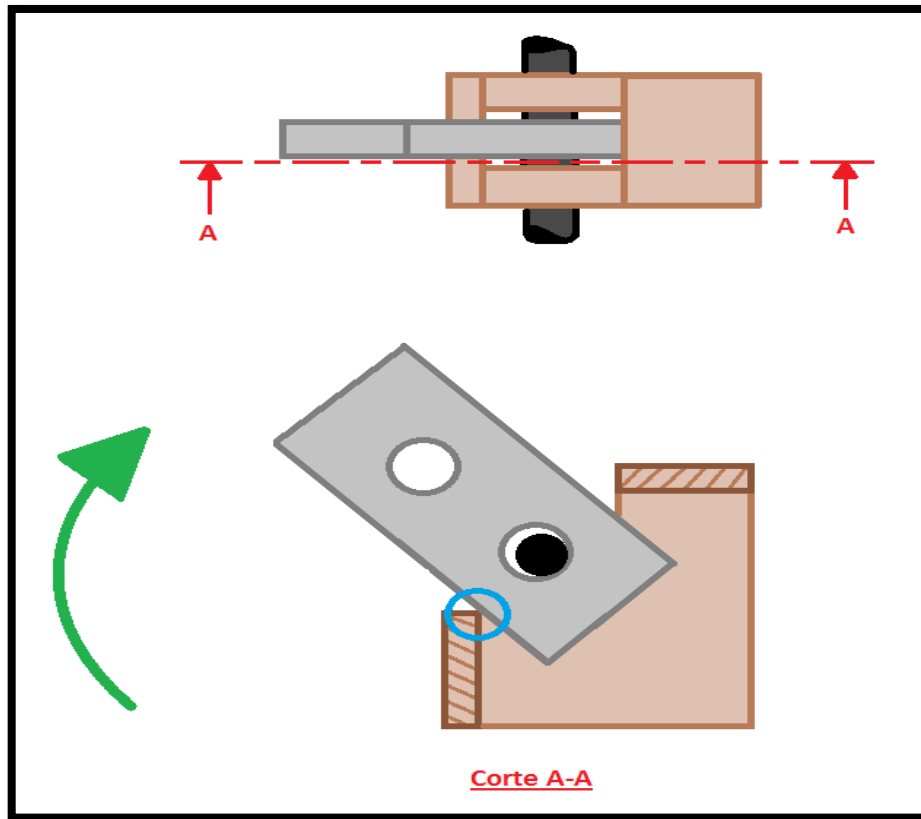
6.1 VERIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO

El plan de mantenimiento ya está establecido para el molino, considerando como mantenimiento preventivo el análisis de vibraciones y el cambio de mangas del filtro de aspiración, y el remplazo de los martillos y la criba como un mantenimiento correctivo programado, ya que, depende de los operarios dar aviso cuando hay cambios muy inusuales en el tiempo del lote de producción, subidas inusuales del amperaje del motor, o en las labores de limpieza observan ya el desgaste de las piezas. Para dar la mayor longevidad a los martillos, se realiza diariamente un cambio en el sentido de giro (utilizando de esta forma dos filos de corte), además, a los martillos se les rota 180° cada mes aproximadamente para cambiar su punto de pivote y utilizar sus otros dos filos de corte. Esta información es tomada del manual de operación del molino, entregado por el fabricante Buhler.

Al existir una remoción de material a causa del mismo desgaste, y al no ser el desgaste simétrico en sus filos de corte, como se vio en el capítulo anterior, salta la duda de cómo se mantiene el balanceo del equipo especialmente cuando se giran 180°; la respuesta a este interrogante es que, aunque los martillos son pivotantes están restringidos por una especie de canal ranurada (una canal situada en cada eje), es decir, los martillos tienen juego respecto al eje donde están montados pero la canal ranurada restringe su movimiento axial y radial, cuando el molino está funcionando el martillo tiene una restricción en su desplazamiento. La figura 12, muestra como es la canal y de qué forma impide el desplazamiento del martillo (circulo azul, punto de contacto) asumiendo que el molino está girando en sentido de las manecillas del reloj.

Al existir una restricción, no importa que los filos de corte ya estén desgastados, puesto que el movimiento y la posición del martillo no cambiara cuando esté en funcionamiento el molino, por consiguiente no se ve afectado el balanceo del equipo.

Figura 12. Montaje Martillo en Canal Ranurada.



El mantenimiento del molino en conjunto tiene una forma de ser verificado y es a través del sistema operativo que maneja la compañía, SAP; en este sistema son cargados diariamente, según la necesidad, todos los repuestos necesarios para el equipo, al igual que las fechas cuando se realizan las intervenciones en el molino.

Con este histórico de mantenimiento fue posible corroborar el tiempo con que se estaba efectuando el cambio de martillos y el costo asociado a estas piezas, suministradas por Buhler. A continuación se presenta una tabla con parte de la información recopilada en SAP y que fue exportada a una hoja de Excel, Tabla 3.

Tabla 3. Histórico de Mantenimiento

Orden	Clase de orden	Fe.inic.extrema	Texto breve	Cst.tot.reales
7296092	PM02	20/01/2012	rectificar rosca tolva molino	118.836,31
7302014	PM02	23/01/2012	mallas para el molino buhler mascotas	1.887.666,64
7427397	PM02	09/03/2012	CAMBIO MICRO DE SEGURIDAD	1.772.000,00
7443006	PM02	16/03/2012	CAMBIO MARTILLOS DEL MOLINO	5.760.174,94
8275941	PM02	10/05/2013	CONEXION VIBRADORES SILOS Y MOLINO	1.805.197,53
8492633	PM02	30/07/2013	cambio de martillos	2.750.562,33
9415238	PM03	16/08/2014	6001-PREV-SIN FIN DE DESCARGA MOLINO	23.403,08
9415239	PM03	16/08/2014	6001-PREV-SIN FIN DE DESCARGA MOLINO	58.507,70
1950113271	PM03	01/09/2014	6001-PREV-MOLINO MARTILLO 500H	23.403,08
1950113272	PM03	04/09/2014	6001-PREV-MOLINO MARTILLO 500H	2.245.387,55
1950153288	PM02	12/09/2014	FUENTE DE COMPUERTAS DEL MOLINO MASCOTAS	640.029,60
1950214697	PM01	15/09/2014	falla en el linak de alimentacion molino	1.237.776,16
1950214926	PM02	26/09/2014	Fabr/platinas molino martillos Bhuler	360.000,00
1950240651	PM02	29/09/2014	Cambio mallas molino	2.976.555,82
1950293662	PM02	11/10/2014	solicitud juego de mallas para el molino	1.492.665,94
1950296358	PM02	16/10/2014	Cambio mallas y martillos	4.681.732,43
1950312874	PM02	19/10/2014	Porta mallas molino	4.249.414,25
1950331003	PM02	21/10/2014	Cambio mallas molino	2.979.481,11
1950355882	PM02	03/11/2014	cambio mallas molino	2.925.013,01
1950390586	PM02	13/11/2014	CAMBIO MALLAS DEL MOLINO	2.925.811,09
1950417685	PM02	18/11/2014	CAMBIO MALLAS DEL MOLINO	2.927.672,45
1950443907	PM02	23/11/2014	cambio de mallas del molino	2.927.672,45

Fuente: SAP

Dentro de una misma orden pueden estar cargadas varias piezas así la descripción solo diga “Cambio Martillos”, para ver la descripción detallada si es necesario hacerlo directamente desde SAP. Esto ocurre, ya que el analista de repuestos no tiene que dividir cada orden por todas las piezas empleadas, sino que según la fecha de solicitud del repuesto y/o la fecha de realización del mantenimiento, el analista genera estos conjuntos de repuestos en una sola orden, y la única forma de conocer que existe mas de un elemento cargado en la misma orden, así a simple vista, es con el costo.

Es válido aclarar que una clase de orden PM01 es ‘Mantenimiento Correctivo’, una PM02 es ‘Mantenimiento Correctivo Programado’ y una orden PM03 es ‘Mantenimiento Preventivo’.

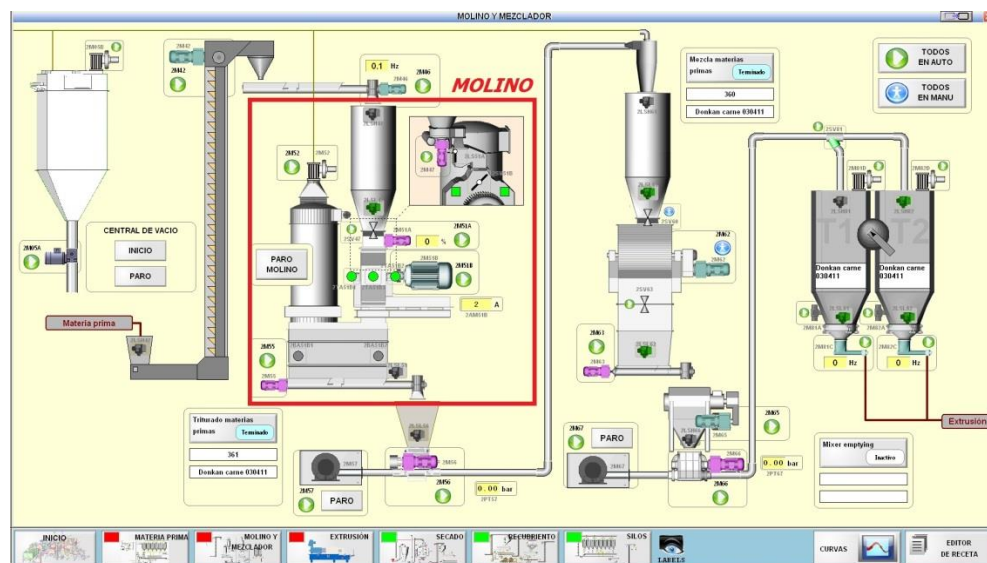
En las revisiones diarias realizadas en planta, y con la información recopilada del mantenimiento se constata que las acciones de mantenimiento que se encuentran en el manual de operación si se llevan a cabo, pero lo que corresponde al análisis de vibraciones, se dejó de realizar desde Octubre de 2014.

6.2 PRODUCCIÓN DEL MOLINO

Por un periodo de dos meses se tomó la medida del tiempo del lote de producción del martillo, esto con el fin de conocer el volumen de producción que está teniendo el molino y su forma de operación. También se recopiló la información acerca del producto que se estaba realizando junto con sus constituyentes; esto con el fin de conocer exactamente que está entrando en la recámara de molienda, y en que porcentajes.

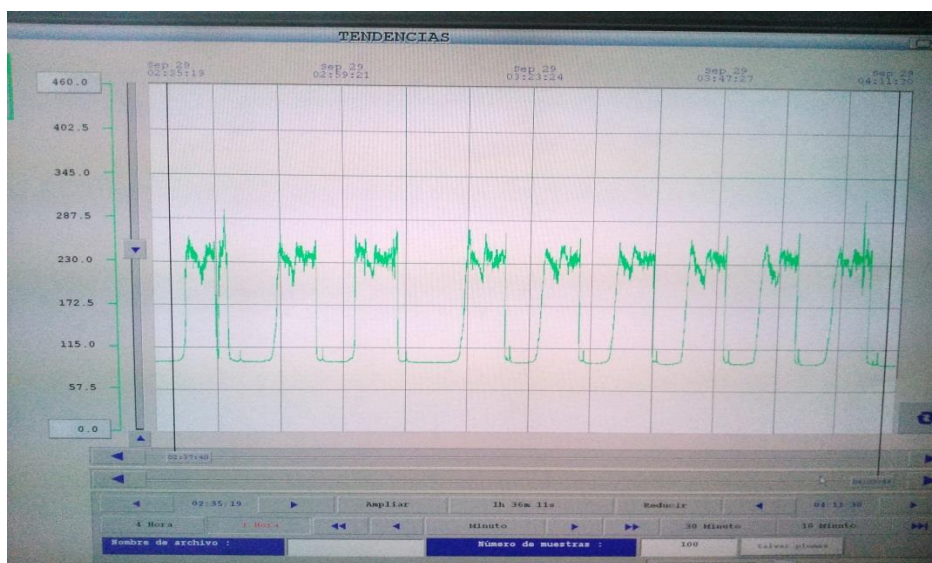
Para recolectar los datos se utilizó el software SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) implementado en planta mascotas. La siguiente figura nos muestra como es la interfaz gráfica que se puede visualizar en el monitor.

Figura 13. Panel de Control (Molino y Mezclador)



Tiene la característica de permitir visualizar las curvas de amperaje de los motores presentes en la línea de producción, de esta forma se puede vigilar en primer lugar cualquier pico que se pueda llegar a salir del rango, y en segundo lugar el tiempo del lote de producción, al ser una gráfica de amperaje v-s tiempo.

Figura 14. Curvas de Amperaje



Fuente: SCADA

Los datos de las recetas y los porcentajes de cada ingrediente también son tomados del SCADA en otra interfaz de visualización. La tabla con todos los datos recopilados se encuentra en el anexo F.

La tabla donde se recopila la información de la producción del molino, se tiene en promedio una duración de **9 a 10 minutos por lote** de producción y se maneja una **cantidad máxima de 1100 kg por lote**, lo que nos da una **capacidad de 6,5 ton/h** máxima del molino. Este valor está dentro de los parámetros que puede manejar el molino, al igual que las acciones de mantenimiento se están llevando a cabo (exceptuando el análisis de vibraciones), pero lo que si se está disminuyendo considerablemente son las paradas entre lotes, y entre cambios de producto, ocasionando que el molino tenga hasta 7 ciclos de operación en una hora. Cifra importante ya que el tiempo de trabajo del molino por turno está tendiendo a aumentar.

6.3 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Del análisis de la producción del molino, se obtiene que la mayor cantidad de materia prima que entra en la recámara de molienda es la zootecnia (sub-producto del maíz), por lo cual es la materia prima analizada. La tabla muestra los datos

otorgados por el área de calidad respecto a las características de esta materia prima.

Tabla 4. Propiedades Zootecnia

Propiedades Zootecnia	Maíz 1 Blanco	Maíz 1 Amarillo	Maíz 2 Blanco	Maíz 2 Amarillo	Maíz 3 Amarillo
Humedad	7,00%	8,70%	8,60%	8,60%	8,00%
Grasa	8,50%	6,00%	7,00%	7,00%	12,00%
Proteína	9,50%	9,00%	8,50%	8,50%	11,20%
Cenizas	3,00%	2,50%	2,25%	2,25%	3,70%
Fibra	6,00%	5,00%	5,50%	5,50%	6,50%
Granulometría	7,51%	7,51%	7,51%	7,51%	7,51%

El manual de operación del molino trae una recomendación de las características de los productos que pueden ser molidos sin afectar el rendimiento o afectar al equipo físicamente.

Figura 15. Propiedades Manual de Operación

Tamaño de los trozos : hasta 60 mm de longitud de arista
 Peso específico a granel : 0,2 ... 0,8 kg/dm³
 Humedad : máx. 16%

Además de la zootecnia, otros productos que entran en la recámara de molienda son: arroz, harina cárnicas, harinas vegetales y microingredientes, aunque su porcentaje dentro del volumen total del lote es de máximo el 30%. Existe entre un 3 y 10% que corresponde, en algunos productos, a reproceso, es decir pastillas ya elaboradas que no cumplen con las especificaciones, por temas de forma, densidad o mezcla; que son ingresadas al molino para su reutilización.

7. PROPUESTAS

1. Restauración de filos de corte con Soldadura EutecTrode 680 CGS

Esta propuesta consiste en tomar cada uno de los martillos ya desechados y rellenar sus cuatro filos de corte con soldadura para reponer el material perdido.

Se realizó la prueba con la empresa **Sociedad Electromecánica**, solicitando de igual forma la cotización de este trabajo, teniendo en cuenta que son 152 martillos los que requieren restauración.

Tabla 5. Proceso de Restauración Martillos Buhler



(a) Primera etapa de relleno con soldadura 680. (b) Martillo con sus cuatro filos de corte reformado y listo para pulido. (c) martillo pulido y pesado en báscula para corroborar su peso con respecto al original. (d) martillo terminado y listo para operación.

Como se tiene un material con alto contenido de carbono en su superficie, su soldabilidad es poca, lo cual genera inconvenientes al escoger cual tipo de soldadura es apta para su reparación. La soldadura EutecTrode 680 CGS (ficha técnica, anexo G) está especialmente diseñada para aceros con difícil soldabilidad, y es utilizada en la industria para la reparación de resorte, ejes, engranajes, entre otros.

La cotización entregada por Sociedad electromecánica dice que el valor unitario de la reparación por martillo estaría en **\$12.000 COP**, esto incluye: la mano de obra (que constaría de dos personas), los electrodos (se consumen tres electrodos por martillo), y los equipos y herramientas necesarios para realizar el trabajo. El tiempo estimado para restaurar los 152 martillos es de 3 días hábiles.

2. Fabricación de los martillos en otro material y con un proceso de manufactura diferente.

Esta propuesta consiste en realizar la fabricación de los martillos con una empresa diferente a Buhler. En el anexo G, se presenta el plano del martillo.

La empresa **Tecnirol S.A.S.** realizó la cotización de la fabricación de los martillos (cotización, anexo H) con las mismas dimensiones, pero cambiando el material del martillo por una placa de acero antidesgaste, y variando su proceso de manufactura.

Mientras los martillos producidos por Buhler son fabricados con una troqueladora y posteriormente se les realiza un tratamiento térmico para aumentar su dureza (como se vio arrojado como resultado la metalografía realizada por los laboratorios de la Universidad Nacional); Tecnirol propone el siguiente proceso de producción:

- Corte por láser para generar el rectángulo base del martillo.
- En un centro de mecanizado realizar los agujeros y el rectificado de las dimensiones del martillo, especialmente la del espesor.

Al ser el material una placa antidesgaste, no es necesario algún tratamiento térmico para aumentar su dureza, ya que este material tiene una dureza de **450 HB**.

El valor que tendría realizar la fabricación de los 152 martillos es de **\$9.120.000 COP**, y se estima un tiempo de duración para su manufactura de 2 semanas (10 días hábiles).

8. CONCLUSIONES

Con la información recolectada, fue preciso definir el tipo de desgaste que se presenta en los martillos, teniendo como resultado un **desgaste de tipo erosivo** netamente, no existe otro tipo de desgaste involucrado. Gracias al análisis del funcionamiento del equipo (martillos), la materia prima que está involucrada (no siendo lo demasiado húmeda para un desgaste de tipo corrosivo o químico) y las fotografías con aumento tomadas de la zona del desgaste, se pudo establecer que el impacto que se genera en los filos de corte de los martillos es la causa de la remoción de material, y por ende de este tipo de desgaste.

Aunque la materia prima no es más dura y/o abrasiva que los martillos, lo que está ocasionando el desgaste es precisamente los impactos repetitivos en los filos de corte, llevando a un proceso de fatiga de bajos ciclos. Primero existe una etapa de microsurcado que después se convierte en microcorte.

Ahora se tiene que resaltar el hecho que se están realizando pruebas para aumentar el tamaño del lote hasta 1500 kg, llegando a una duración de molienda por lote de 16 minutos, y también se hacen pruebas para producir comida para gatos, que conlleva por los ingredientes que maneja a que sea un producto más grasoso (abrasivo) el que entra en la recámara de molienda.

Si la empresa desea aumentar su nivel de producción, inclusive llevando el equipo a manejar dos líneas de producto en alimentos para mascotas, tiene que buscar alternativas de mejora en los martillos, que permitan mantener la eficiencia del equipo (inclusive a menor costo) y en el mejor de los casos aumentar la vida útil de las piezas para que su cambio no sea cada dos meses como está ocurriendo actualmente.

Las dos propuestas planteadas son viables para la empresa (aclarando que aún falta probar y registrar el comportamiento en el tiempo de los nuevos martillos), pero cada una tiene sus falencias.

La primera propuesta, consume bastante tiempo para poder llevar a cabo la reparación planteada (ya que son 152 martillos los que se tendrían que reparar), la soldadura no cumple con la dureza que se quiere obtener superficialmente (introduciendo la duda de que tanta vida útil tendrían estos nuevos martillos); y por último se pueden generar problemas en el balanceo del equipo al solo poder verificar el peso de cada martillo pero no la distribución de la masa a lo largo de su

longitud, generándose la posibilidad de un desbalanceo ya implícito en el mismo martillo.

La segunda propuesta plantea un proceso de manufactura que resulta costoso para las necesidades de acabado superficial que requiere la pieza, específicamente lo que se refiere a la utilización de un CNC para la realización de los agujeros y la rectificación de medidas; si en cambio, se utilizara el centro de mecanizado para lograr el espesor de la placa deseado y luego mediante el proceso de corte por láser generar el martillo con sus respectivos agujeros, el costo disminuiría.

Ahora bien, el hecho de que en la segunda propuesta se realice un cambio de material para la fabricación de los martillos, me parece más acertado en la búsqueda de aumentar la vida útil de los martillos, aunque no es necesario sesgarse a que se necesita de una placa anti desgaste, se puede implementar otro tipo de acero aleado que siga cumpliendo con las características requeridas (principalmente con altos porcentajes en Molibdeno y Níquel para aumentar la dureza), y una vez definido el material también validar que proceso de manufactura nos permite obtener unos martillos de excelente calidad y a menor costo (Corte Plasma, Oxicorte, Corte Laser, Corte por chorro de agua).

BIBLIOGRAFÍA

1. SOCARRAS, Macías. IDALBERTO. Aspectos teóricos sobre el desgaste abrasivo en los elementos. {En línea} Santa Fe: El Cid Editor, 2009. Disponible en: Ebrary (bases de datos)
2. CHATTOPADHYAY, R. Surface Wear: Analysis, Treatment, and Prevention. {En línea}. USA: ASM International, 2001, Disponible en: Ebrary (bases de datos)
3. HERNANDEZ ALBAÑIL, Héctor. ESPEJO MORA, Edgar. Mecánica de fractura y análisis de falla. {En línea}. 2002, Universidad Nacional de Colombia. {18 septiembre de 2015}. Disponible en: https://books.google.es/books?id=4thN1y4un2UC&pg=PA135&dq=Análisis+de+desgaste&hl=es&sa=X&ved=0CCkQ6AEwAmoVChMI_7mjkroGyAIVAAseCh2IWwVj#v=onepage&q=Análisis%20de%20desgaste&f=false
4. W. HALL, Carl. SALAS ARANGO, Freddy. Equipo para procesamiento de productos agrícolas. {En línea}. 1968, IICA. {16 septiembre de 2015}. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=tY8gAQAAIAAJ&pg=PA7&dq=molino+de+martillos&hl=es&sa=X&ved=0CDgQ6AEwBGoVChMIhfGYoNWGyAIVCiYeCh02QgaS#v=onepage&q=molino%20de%20martillos&f=false>
5. BIGLIANI, Giuseppe. Sistemas de asistencia por aire para Molinos de martillos, {En línea}. 2008, engormix. {16 septiembre de 2015}. Disponible en: <https://www.engormix.com/MA-balanceados/fabricacion/articulos/sistemas-asistencia-aire-molinos-t1892/801-p0.htm>
6. TOVAR S. Gustavo. Análisis de falla de componentes de ingeniería. {En línea}. 1999, Universidad de los Andes. {18 septiembre de 2015}. Disponible en: <https://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/rev9art10.pdf>

ANEXO A

Table 2.3 Selected ASTM standard practices for wear testing

Designation	Standard test method for
G 65	Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus
G 105	Conducting Wet Sand/Rubber Wheel Abrasion Tests
G 75	Determination of Slurry Abrasivity (Miller Number) and Slurry Abrasion Response of Materials (SAR Number)
G 98	Galling Resistance of Materials
G 99	Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus
G 73	Liquid Impingement Erosion Testing
G 76	Conducting Erosion Tests by Solid Particle Impingement Using Gas Jets
G 102	Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements
G 59	Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements

Table 2.4 Ranges of wear coefficients (K values) for different types of wear

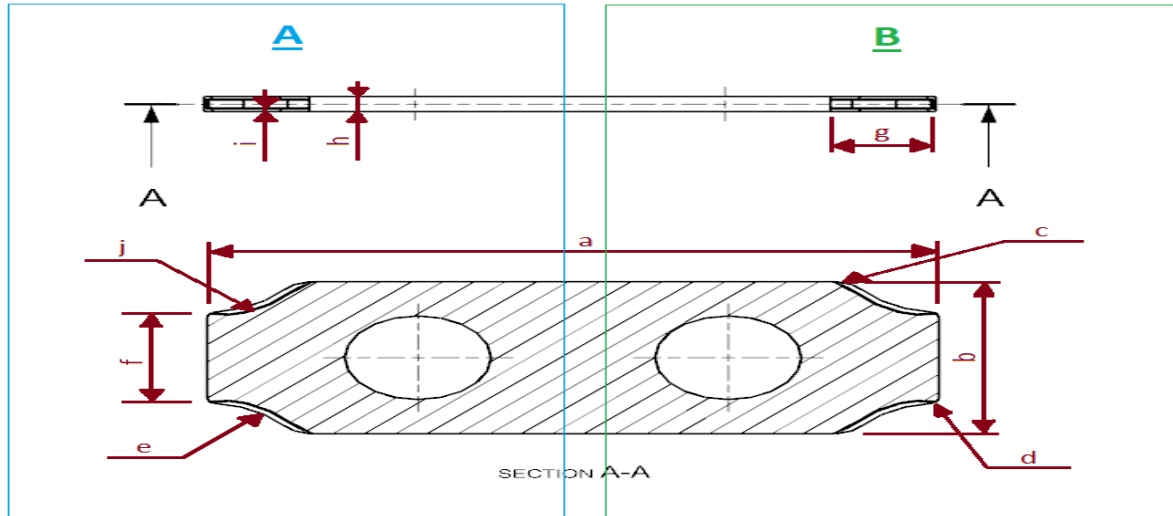
Wear type	K -value
Adhesive (K_{adh})	
Identical metals	10^{-2} to $10^{-7}(a)$
Compatible metals	$10^{-2.5}$ to $10^{-7}(a)$
Partly compatible metals	10^{-3} to $10^{-7}(a)$
Nonmetals on metals or nonmetals	10^{-4} to $10^{-5.5}(a)$
Abrasive (K_{abr})	
Two-body abrasion	$10^{-0.5}$ to $10^{-2.5}$
Three-body abrasion	$10^{-2.5}$ to $10^{-5}(b)$
Corrosive (K_{corr})	10^{-2} to $10^{-5.5}$
Fretting (K_{fret})	10^{-4} to $10^{-7}(a)$

(a) Depends on the extent of lubrication. (b) Depends on low or high abrasive content. Source: Ref 8

Fuente: Surface Wear: Analysis, Treatment, and Prevention

ANEXO B

Medición del Desgaste



Martillo			Lado A								Lado B							
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	c	d	e	f	g	h	i	j
1	164,81	59,89	9	1	7	32,55	17,35	5,88	0,96	4	9	1,25	12	32,94	21,7	5,85	1,16	7
2	164,84	59,92	11	1	12	35,98	23,01	5,83	1,12	4,5	12	1	12	35,7	26,26	5,8	1,02	6
3	164,81	59,91	15	1,25	12	33,28	30,44	5,8	0,98	4	16	1	0	34,35	28,78	5,82	0,84	6
4	164,86	59,94	15	1	15	36,84	27,49	5,83	0,97	4,5	10	1,25	14	33,6	30,11	5,79	0,76	3,5
5	164,82	59,92	10	1,75	15	36,82	22,22	5,83	1,04	8	16	2	0	33,86	31,06	5,81	0,97	4
6	165,15	59,9	12	1,25	0	35,99	17,88	5,8	0,72	9	14	1	0	37,62	24,98	5,82	0,85	10
7	164,75	59,84	11	1,5	0	13,31	20,39	5,9	1,2	4	15	2	15	35	20,26	5,86	0,98	10
8	164,91	59,86	12	1	0	37,49	21	5,88	0,89	5	18	2	0	35,9	24,13	5,81	1	8
9	164,97	59,86	10	2	16	33,84	14,3	5,81	1,04	7	15	1	18	28,99	23,76	5,82	1,13	9
10	164,8	59,88	9	2	7,5	33,58	16,28	5,77	1,15	2,25	16	1	0	34,87	20,4	5,86	0,81	6
11	165,01	59,85	9	1	0	36,65	28,95	5,84	0,79	3,5	15	1,5	12	33,17	22,25	5,86	0,73	7
12	164,85	59,84	10	1,5	0	37,64	24,08	5,86	1,13	5	16	2	0	36,56	22,36	5,84	1,02	7
13	164,94	59,83	11	1,5	15	36,17	24,5	5,86	1,03	6,5	12	1,75	0	36,89	21,92	5,84	1,2	6,5
14	164,83	59,89	12	2,5	2,25	35,74	17,85	5,86	1	2,25	12	1,25	0	37,16	30,07	5,87	1,11	3
15	164,84	59,84	10	1	16	35,66	23,04	5,82	0,89	3	13	1,75	0	35,99	26,13	5,82	0,92	8
16	164,78	59,82	9	1,5	0	34,89	17,98	5,79	1	2,25	12	1,25	0	36,59	27,04	5,85	0,99	5,5
17	164,68	59,88	13	1,75	0	39,53	26,24	5,88	1,07	2,75	13	1,75	0	35,56	27,66	5,86	1,16	2,5
18	164,84	59,85	14	2	0	37,77	20,4	5,85	1,13	4	11	1	0	36,77	20,43	5,85	0,81	9
19	164,88	59,88	15	1,5	0	36,72	24,75	5,83	0,93	3,5	10	1,25	18	35,66	27,22	5,87	1,09	3
20	164,77	59,87	14	1,25	0	35,35	17,23	5,84	0,9	4,5	12	1	0	34,07	23,65	5,85	1,05	3,5
Promedio	164,86	59,87	11,55	1,46	5,89	34,79	21,77	5,84	1,00	4,48	13,35	1,40	5,05	35,06	25,01	5,84	0,98	6,23
DesvEstan	0,102398	0,03329	2,13923	0,431	6,852	5,33147	4,47078	0,034	0,122	1,874	2,45539	0,401	7,222	1,97916	3,44426	0,0243	0,1418	2,3757
CV [%]	0,062113	0,0556	18,5215	29,49	116,38	15,3247	20,5373	0,5818	12,26	41,88	18,3924	28,62	143	5,64466	13,7724	0,4155	14,472	38,164

ANEXO C

Informe José Romero Martillo OT LMPR 179 2015 LQ-1, Fuente: Laboratorio de Materiales y Procesos de la Universidad Nacional.

Bogotá, D.C., Miércoles 16 de Diciembre de 2015

Señor
JOSÉ LUÍS ROMERO GALINDO
Tel. 2704364
Calle 106A No 70F - 28
Bogotá

INFORME DE LABORATORIO

1. ENSAYOS SOLICITADOS: Una (1) Metalografía y un (1) análisis químico.

2. MATERIAL ENTREGADO: Un (1) martillo.

3. RESULTADOS OBTENIDOS:

3.1 Material Recibido.

Se recibió en laboratorio un martillo, foto 1, con el fin de realizar estudio metalográfico y de composición química del acero.

3.2 Procedimiento.

Una vez recibida la muestra se procedió a: (1) realizarle inspección visual y registro fotográfico; (2) selección de zonas para ensayos metalográficos y de composición química; (3) realización de cortes con disco abrasivo y refrigeración líquida; (4) la muestra metalográfica se preparó siguiendo el procedimiento general recomendado en la norma ASTM E3-11, y se observó en un microscopio óptico LECO 500 con cámara y software de captura – análisis de imágenes LECO IA32; (5) el contenido de inclusiones de la muestra de acero se midió por el método de comparación A de la norma ASTM E45 – 11; (6) la medición del tamaño de grano se realizó según el método de comparación de la norma ASTM E112-10; (7) la medición del espesor de la capa cementada se realizó en un

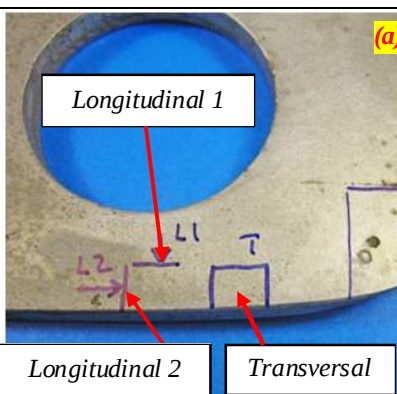
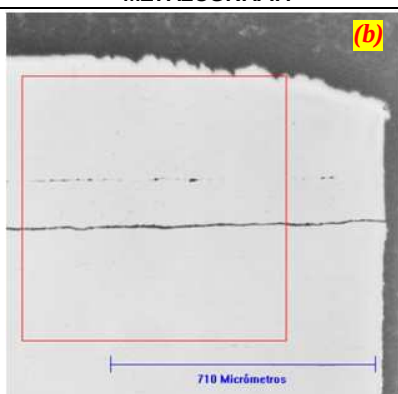
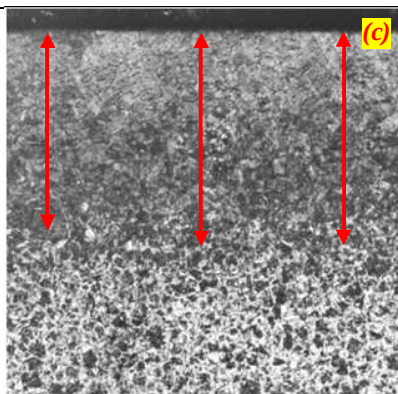
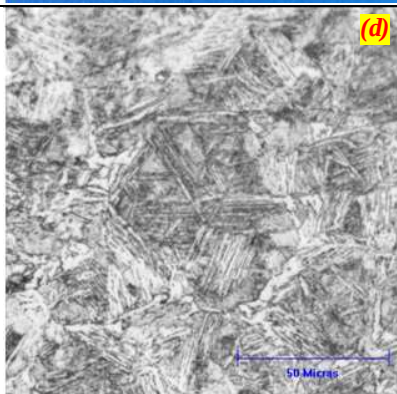
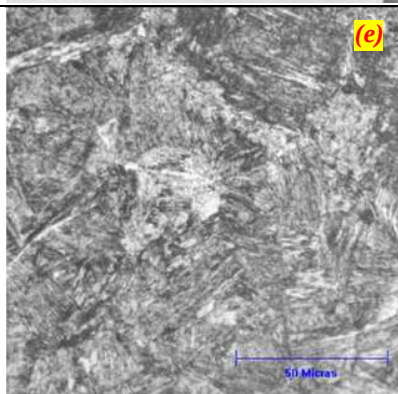
microscopio óptico LECO 500 con cámara y software de análisis de imágenes LECO IA32, calibrado con reglilla Zeiss serial 140201 (certificado de calibración D-K-12037-01-00 del DKD alemán del 02/07/2014); (8) el análisis de composición química se realizó en un espectrómetro de chispa UV-VIS, marca Baird DV-4 con el software Bairdas y utilizando la curva de calibración LAS2010 de aceros de baja aleación (siguiendo las recomendaciones generales de la norma ASTM E 751 – 11 y demás normas citadas por ésta);



Foto 1. Muestra recibida para análisis.

3.3 Metalografía y Composición Química.

Los resultados de metalografía y composición química se muestran en el cuadro No 1.

CUADRO No 1. RESULTADOS DEL MARTILLO																																												
Contrato: OT LMPR 179 2015					Referencia de la Pieza: Martillo																																							
Enterante: José Luis Romero Galindo					Ensayo Solicitado: Metalografía y Composición Química																																							
Fecha: 16 – 12 – 2015					METALOGRAFÍA																																							
     (a) Martillo con zonas metalográficas. (b) Sección longitudinal 1. Inclusiones con morfología C (silicatos) en severidad 4 de la serie gruesa, medido por el método de comparación A de la norma ASTM E45 – 11 (sin ataque químico). 100X. (c) Sección longitudinal 1. Presencia de capa cementada en el martillo (ataque químico). 50X. (d) Sección longitudinal 2 en núcleo. Microestructura compuesta por granos de martensita revenida y ferrita acicular en límite de grano, con tamaño de grano de la austenita previa al temple ASTM No 5, medido según el método de comparación de la norma ASTM E112-10 (ataque químico). 800X. (e) Sección longitudinal 2 en exterior de la capa cementada. Microestructura compuesta por granos de martensita revenida (ataque químico). 800X. Ataque químico realizado con reactivo Nital al 2%. <table><tr><th colspan="9">ESPESOR de la capa cementada en el martillo (micrómetros)</th></tr><tr><th rowspan="2">#</th><th rowspan="2">Medición</th><th colspan="5">Lecturas</th><th colspan="2">Estadísticos</th><th rowspan="2">-</th></tr><tr><th>No 1</th><th>No 2</th><th>No 3</th><th>No 4</th><th>No 5</th><th>Promedio</th><th>Desviación Estándar</th></tr><tr><td>1</td><td>Sección longitudinal 1</td><td>1124</td><td>1144</td><td>1154</td><td>1124</td><td>1174</td><td>1144</td><td>21,2</td><td>19</td></tr></table> *Incertidumbre estimada según el procedimiento de la JCGM 100 : 2008 para un K = 2, nivel de confianza del 95%; resolución del Analizador de imágenes: 1 µm; e Incertidumbre expandida de la reglilla de calibración: +/-0,2 µm.									ESPESOR de la capa cementada en el martillo (micrómetros)									#	Medición	Lecturas					Estadísticos		-	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	Promedio	Desviación Estándar	1	Sección longitudinal 1	1124	1144	1154	1124	1174	1144	21,2	19
ESPESOR de la capa cementada en el martillo (micrómetros)																																												
#	Medición	Lecturas					Estadísticos		-																																			
		No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	Promedio	Desviación Estándar																																				
1	Sección longitudinal 1	1124	1144	1154	1124	1174	1144	21,2	19																																			



4

Number of burns : 3		Average	S.D.	R.S.D.	Minimum	Maximum
Fe (%)		97.951	0.0375	0.0	97.926	97.994
C (%)		0.474	0.0102	2.1	0.467	0.486
Mn (%)		0.744	0.0123	1.7	0.731	0.755
P (%)		0.017	0.0010	6.1	0.016	0.018
S (%)		0.018	0.0018	10.0	0.017	0.020
Si (%)		0.185	0.0057	3.1	0.180	0.191
Cu (%)		0.206	0.0033	1.6	0.202	0.208
Ni (%)		0.159	0.0014	0.9	0.157	0.160
Cr (%)		0.126	0.0017	1.3	0.124	0.127
V (%)		0.004	0.0001	3.3	0.004	0.004
Mo (%)		0.048	0.0005	1.0	0.046	0.049
W (%)		0.012	0.0194	166.7	0.000	0.023
Co (%)		0.016	0.0004	2.7	0.015	0.016
Ti (%)		0.001	0.0000	3.8	0.001	0.001
Sn (%)		0.013	0.0007	5.2	0.013	0.014
Al (%)		0.000	0.0015	0.0	0.000	0.000
Nb (%)		0.008	0.0007	8.4	0.007	0.008
B (%)		0.0003	0.00014	56.5	0.0001	0.0004
Pb (%)		0.014	0.0005	3.3	0.013	0.014
Mg (%)		0.001	0.0001	16.1	0.001	0.001

Number of Burns: Número de quemas a partir del cual se obtuvieron los resultados. Average: Promedio; S.D.: Desviación estándar; R.S.D.: Desviación estándar relativa= (S.D./Average) x 100. Minimum: Menor valor obtenido en las quemas; Maximum: Mayor valor obtenido en las quemas.

COMPOSICION QUIMICA DEL ACERO EN LA SUPERFICIE (% en Peso) - Medida en espectrómetro de chispa UV-VIS

Number of burns : 4					
Element	Average	S.D.	R.S.D.	Minimum	Maximum
Fe (%)	97.817	0.0218	0.0	97.794	97.842
C (%)	0.684	0.0514	7.5	0.631	0.751
Mn (%)	0.711	0.0154	2.2	0.689	0.724
P (%)	0.011	0.0019	17.3	0.009	0.013
S (%)	0.016	0.0012	7.9	0.015	0.017
Si (%)	0.179	0.0035	2.0	0.174	0.182
Cu (%)	0.200	0.0054	2.7	0.193	0.206
Ni (%)	0.153	0.0033	2.2	0.149	0.157
Cr (%)	0.123	0.0015	1.2	0.121	0.124
V (%)	0.004	0.0002	4.7	0.004	0.004
Mo (%)	0.047	0.0004	0.9	0.045	0.047
W (%)	0.006	0.0076	117.9	0.000	0.015
Co (%)	0.015	0.0009	6.0	0.013	0.015
Ti (%)	0.001	0.0000	2.8	0.001	0.001
Sn (%)	0.013	0.0006	4.9	0.012	0.013
Al (%)	0.000	0.0049	0.0	0.000	0.000
Nb (%)	0.006	0.0012	18.7	0.005	0.007
B (%)	0.0001	0.00007	61.6	0.0000	0.0002
Pb (%)	0.013	0.0012	9.6	0.011	0.013
Mg (%)	0.001	0.0001	15.9	0.000	0.001

Number of Burns: Número de quemas a partir del cual se obtuvieron los resultados. Average: Promedio; S.D.: Desviación estándar; R.S.D.: Desviación estándar relativa= (S.D./Average) x 100. Minimum: Menor valor obtenido en las quemas; Maximum: Mayor valor obtenido en las quemas.

- *El informe aplica únicamente a las muestras referenciadas en el encabezado.*
- *El laboratorio no se hace responsable por la reproducción total o parcial del informe y de las interpretaciones que se le puedan dar. Las copias impresas deben ser solicitadas directamente al laboratorio.*
- *El contenido del informe y los resultados reportados son confidenciales acorde a la política del laboratorio, descrita en el manual de calidad del laboratorio según requerimiento de la Norma NTC-ISO/IEC 17025: 2005.*
- *Las probetas utilizadas para los ensayos se conservan en el laboratorio por un año.*
- *Las piezas de las cuales se extrajeron las probetas se desecharán como chatarra al cabo de tres meses si el cliente no las reclama.*

Atentamente,

EDGAR ESPEJO MORA

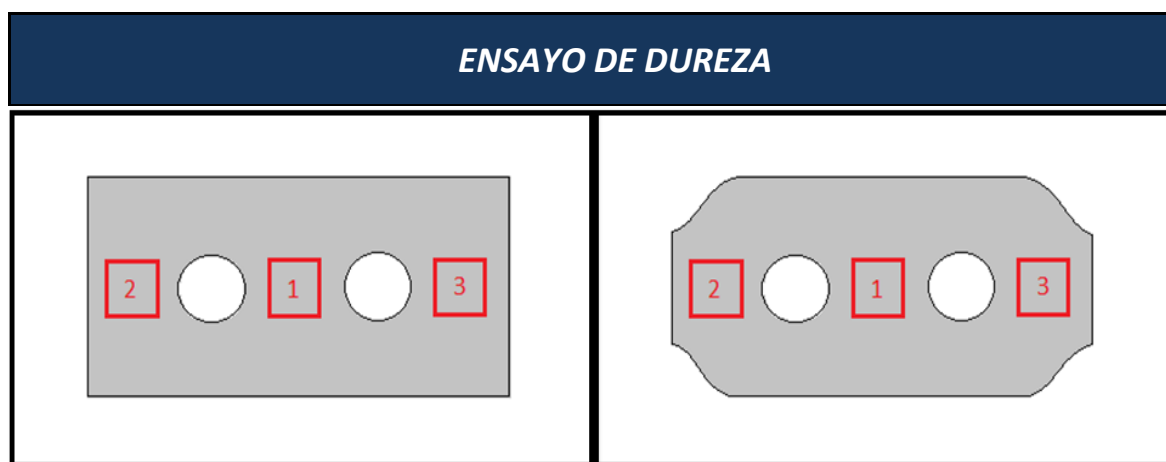
Responsable

eespejom@unal.edu.co

EDGAR ESPEJO MORA

Jefe laboratorio de Materiales y Procesos

ANEXO D



Zona 1			Zona 1		
No.	Dureza	Unidad	No.	Dureza	Unidad
1	314	HB	1	358	HB
2	324	HB	2	314	HB
3	308	HB	3	342	HB
4	267	HB	4	329	HB
5	314	HB	5	284	HB
6	310	HB	6	319	HB
7	319	HB	7	356	HB
8	314	HB	8	301	HB
9	287	HB	9	292	HB
10	326	HB	10	313	HB
11	296	HB	11	307	HB
12	309	HB	12	354	HB
13	275	HB	13	385	HB
14	261	HB	14	370	HB
15	281	HB	15	339	HB
Promedio	300,33	HB	Promedio	330,87	HB
DesvEsta	21,08712087	HB	DesvEsta	29,84691098	HB
CV	7,021238914	%	CV	9,020827418	%
Zona 2			Zona 2		
No.	Dureza	Unidad	No.	Dureza	Unidad
1	276	HB	1	365	HB
2	290	HB	2	378	HB

3	272	HB	3	357	HB
4	302	HB	4	357	HB
5	270	HB	5	341	HB
6	253	HB	6	373	HB
7	328	HB	7	362	HB
8	349	HB	8	357	HB
9	338	HB	9	364	HB
10	281	HB	10	362	HB
11	321	HB	11	333	HB
12	322	HB	12	351	HB
13	309	HB	13	333	HB
14	312	HB	14	316	HB
15	277	HB	15	332	HB
Promedio	300,00	HB	Promedio	352,07	HB
DesvEsta	28,3372 5463	HB	DesvEsta	17,412912 56	HB
CV	9,44575 1544	%	CV	4,9459134 33	%
Zona 3			Zona 3		
No.	Dureza	Unidad	No.	Dureza	Unidad
1	333	HB	1	312	HB
2	328	HB	2	287	HB
3	312	HB	3	303	HB
4	306	HB	4	322	HB
5	328	HB	5	309	HB
6	349	HB	6	314	HB
7	320	HB	7	354	HB
8	276	HB	8	362	HB
9	301	HB	9	375	HB
10	280	HB	10	352	HB
11	275	HB	11	357	HB
12	281	HB	12	375	HB
13	309	HB	13	361	HB
14	341	HB	14	343	HB
15	347	HB	15	310	HB
Promedio	312,40	HB	Promedio	335,73	HB
DesvEsta	25,726029 06	HB	DesvEsta	28,738890 19	HB
CV	8,2349644 89	%	CV	8,5600348 07	%

Promedio Martillo	304,24	HB	Promedio M/llo Desgaste	339,56	HB
Promedio General	321,90	HB			

ANEXO E

<i>Histórico de Operación Molino Buhler</i>									
<i>Fecha</i>	<i>Hora</i>	<i>Receta</i>	<i>% Reproceso</i>	<i>% Zootecnica</i>	<i>No. Lotes Total</i>	<i>Cantidad [kg]</i>	<i>Cantidad Real [kg]</i>	<i>Ciclos de Operación</i>	<i>t Promedio Lote</i>
14/09/ 2015	2:30 - 8:30 am	Dogourmet Carne	0,12	0,40	27	900	817,47	6	0:07:56
<i>Ciclo</i>	<i>Inicio</i>	<i>Fin</i>	<i>No. Lotes</i>	<i>t Promedio</i>	<i>t Parada</i>	<i>Observaciones</i>			
1	2:57:13 a. m.	3:29:53 a. m.	4	0:08:10	N/A				
2	3:39:01 a. m.	4:49:42 a. m.	8	0:08:50	0:09:08				
3	5:04:12 a. m.	5:36:39 a. m.	4	0:08:07	0:14:30				
4	6:29:03 a. m.	6:35:38 a. m.	1	0:06:35	0:52:24				
5	7:10:48 a. m.	8:17:35 a. m.	8	0:08:21	0:35:10				
6	8:38:39 a. m.	8:53:42 a. m.	2	0:07:31	0:21:04				
15/09/ 2015	2:30 - 8:30 am	Dogourmet Pollo	0,10	0,40	20	900	825,84	5	0:09:13
<i>Ciclo</i>	<i>Inicio</i>	<i>Fin</i>	<i>No. Lotes</i>	<i>t Promedio</i>	<i>t Parada</i>	<i>Observaciones</i>			

1	3:52:43 a. m.	4:58:30 a. m.	7	0:09:24	N/A				
2	5:16:21 a. m.	5:52:12 a. m.	4	0:08:58	0:17:51				
3	6:32:50 a. m.	6:49:23 a. m.	2	0:08:17	0:40:38				
4	7:03:40 a. m.	7:22:35 a. m.	2	0:09:28	0:14:17				
5	7:40:10 a. m.	8:30:00 a. m.	5	0:09:58	0:17:35				
16/09/ 2015	2:30 - 8:30 am	Dogourmet Pollo	0,10	0,40	25	900	825,84	5	0:07:39
Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedi o	t Parada	Observacio nes			
1	2:30:00 a. m.	3:14:36 a. m.	6	0:07:26	N/A				
2	3:14:36 a. m.	3:18:32 a. m.	1	0:03:56	0:00:00	Tiempo del lote cortó, por problema en la compuerta del mezclador. Carga menor			
3	3:23:04 a. m.	3:50:07 a. m.	3	0:09:01	0:04:32				
4	4:03:17 a. m.	5:51:19 a. m.	11	0:09:49	0:13:10				

5	6:18:30 a. m.	6:50:42 a. m.	4	0:08:03	0:27:11				
17/09/2015	2:30 - 8:30 am	Donkan Cachorros USA Blanco	0,00	0,45	20	1100	1025,71	3	0:09:24
Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedio	t Parada	Observaciones			
1	2:51:10 a. m.	5:18:46 a. m.	16	0:09:14	N/A				
2	5:24:36 a. m.	5:54:10 a. m.	3	0:09:51	0:05:50				
3	6:33:01 a. m.	6:42:09 a. m.	1	0:09:08	0:38:51	Parada de Producción Por Atascamiento de Sebo			
21/09/2015	2:30 - 8:30 am	Donkan Cereal USA Blanco	0,03	0,65	31	1100	1059,036	2	0:09:52
Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedio	t Parada	Observaciones			
1	2:45:06 a. m.	6:03:24 a. m.	20	0:09:55	N/A				
2	6:11:22 a. m.	7:59:26 a. m.	11	0:09:49	0:07:58				
22/09/2015	2:30 - 8:30 am	Donkan Cereal USA Blanco	0,03	0,65	31	1100	1059,036	4	0:09:18

Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedio	t Parada	Observaciones			
1	2:45:01 a. m.	3:47:08 a. m.	7	0:08:52	N/A				
2	3:51:14 a. m.	5:42:30 a. m.	11	0:10:07	0:04:06				
3	6:24:07 a. m.	6:43:44 a. m.	2	0:09:49	0:41:37				
4	6:57:27 a. m.	8:30:00 a. m.	11	0:08:25	0:13:43				
23/09/2015	2:30 - 8:30 am	Donkan Cereal USA Blanco	0,03	0,65	31	1100	1059,036	4	0:10:50
Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedio	t Parada	Observaciones			
1	2:30:00 a. m.	5:04:08 a. m.	14	0:11:01	N/A				
2	5:15:48 a. m.	5:57:15 a. m.	4	0:10:22	0:11:40				
3	6:06:31 a. m.	7:12:36 a. m.	6	0:11:01	0:09:16				
4	7:19:13 a. m.	8:35:56 a. m.	7	0:10:58	0:06:37				
24/09/2015	2:30 - 8:30 am	NA	0,00	0,00	0	0	0	0	# ¡DIV/0!
Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedio	t Parada	Observaciones			

1	2:30:00 a. m.	8:30:00 a. m.	0	# ¡DIV/0!	N/A	1. Hubo un problema con la materia prima que no permitió el producto final deseado. 2. Se realizó el giro de 180° a los martillos (esta operación duró media hora)			
25/09/2015	2:30 - 8:30 am	Dogourmet Carne USA Blanco	0,10	0,40	31	900	827,973	2	0:09:48
Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedio	t Parada	Observaciones			
1	2:44:43 a. m.	5:50:58 a. m.	19	0:09:48	N/A				
2	6:14:22 a. m.	8:11:54 a. m.	12	0:09:48	0:23:24				
28/09/2015	2:30 - 8:30 am	Dogourmet Cachorros Leche USA Blanco	0,00	0,39	20	900	829,665	4	0:06:52

Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedio	t Parada	Observaciones			
1	4:56:44 a. m.	5:10:13 a. m.	2	0:06:44	N/A				
2	5:33:32 a. m.	6:02:16 a. m.	4	0:07:11	0:23:19				
3	6:12:22 a. m.	6:17:55 a. m.	1	0:05:33	0:10:06				
4	6:33:32 a. m.	8:17:41 a. m.	13	0:08:01	0:15:37				
29/09/2015	2:30 - 8:30 am	Donkan Cereal Villao Amarillo	0,03	0,65	16	1100	1072,48	2	0:11:47
Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedio	t Parada	Observaciones			
1	2:37:40 a. m.	4:09:46 a. m.	9	0:10:14	N/A				
2	7:16:28 a. m.	8:49:45 a. m.	7	0:13:20	3:06:42	Producto remanente en bascula, nuevamente recirculado			
30/09/2015	2:30 - 8:30 am	Donkan Carne Villao Amarillo Perfil 2	0,00	0,65	25	1100	1071,95	4	0:12:55
Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedio	t Parada	Observaciones			

1	3:07:29 a. m.	5:07:45 a. m.	11	0:10:56	N/A	Cambio de Cribas				
2	5:13:02 a. m.	5:27:48 a. m.	1	0:14:46	0:05:17	Zootecnia muy grasosa y se tapan las mangas del filtro, perjudicando o la aspiración.				
3	5:34:49 a. m.	5:48:20 a. m.	1	0:13:31	0:07:01					
4	6:26:28 a. m.	8:55:38 a. m.	12	0:12:26	0:38:08					
01/10/2015	2:30 - 8:30 am	NA	0,00	0,00	0	0	0	0	# ¡DIV/0!	
02/10/2015	2:30 - 8:30 am	NA	0,00	0,00	0	0	0	0	# ¡DIV/0!	
Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedio	t Parada	Observaciones				
1	2:30:00 a. m.	8:30:00 a. m.	0	# ¡DIV/0!	N/A	Como hubo cierre fiscal: Se realizaron trabajos de inventario, limpieza y fumigación en planta				
05/10/2015	2:30 - 8:30 am	Dogourmet Carne USA Blanco	0,10	0,40	26	900	817,12	6	0:07:38	

Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedio	t Parada	Observaciones			
1	3:34:52 a. m.	3:49:33 a. m.	2	0:07:20	N/A				
2	3:56:59 a. m.	4:03:29 a. m.	1	0:06:30	0:07:26				
3	4:13:21 a. m.	5:20:34 a. m.	8	0:08:24	0:09:52				
4	6:18:03 a. m.	6:33:10 a. m.	2	0:07:33	0:57:29				
5	6:47:59 a. m.	7:35:20 a. m.	6	0:07:54	0:14:49				
6	7:55:58 a. m.	8:52:25 a. m.	7	0:08:04	0:20:38				
06/10/2015	2:30 - 8:30 am	Dogourmet Vegetal USA Blanco	0,05	0,40	19	900	822,357	3	0:09:40
Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedio	t Parada	Observaciones			
1	2:38:03 a. m.	3:49:51 a. m.	8	0:08:58	N/A				
2	4:14:08 a. m.	5:39:38 a. m.	8	0:10:41	0:24:17				
3	6:22:41 a. m.	6:50:39 a. m.	3	0:09:19	0:43:03				
07/10/2015	2:30 - 8:30 am	Dogourmet Carne USA B Rep Genérico	0,10	0,40	28	900	822,618	2	0:09:09

Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedio	t Parada	Observaciones			
1	4:19:36 a. m.	5:41:30 a. m.	9	0:09:06	N/A				
2	6:13:46 a. m.	9:08:19 a. m.	19	0:09:11	0:32:16				
08/10/2015	2:30 - 8:30 am	Donkan Carne USA B Perfil 1 Rep Genérico	0,03	0,65	10	1100	1068,749	2	0:11:01
Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedio	t Parada	Observaciones			
1	4:23:24 a. m.	5:51:36 a. m.	8	0:11:02	N/A				
2	6:54:08 a. m.	7:16:07 a. m.	2	0:11:00	1:02:32				
09/10/2015	2:30 - 8:30 am	Donkan Cereal USA B Perfil 1 Rep Genérico	0,03	0,65	17	1100	1069,299	2	0:10:36
Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedio	t Parada	Observaciones			
1	3:46:59 a. m.	5:53:30 a. m.	11	0:11:30	N/A				
2	7:22:20 a. m.	8:20:33 a. m.	6	0:09:42	1:28:50				
15/10/2015	2:30 - 8:30 am	Dogourmet Cereal USA B Rep Genérico	0,03	0,40	27	900	821,538	3	0:09:04

Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedio	t Parada	Observaciones			
1	2:37:52 a. m.	5:51:11 a. m.	20	0:09:40	N/A				
2	6:37:34 a. m.	7:13:28 a. m.	4	0:08:59	0:46:23				
3	7:38:06 a. m.	8:03:50 a. m.	3	0:08:35	0:24:38				
16/10/2015	2:30 - 8:30 am	Dogourmet Pollo USA B Rep Genérico	0,10	0,40	22	900	827,892	1	0:08:16
Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedio	t Parada	Observaciones			
1	2:25:05 a. m.	5:27:05 a. m.	22	0:08:16	N/A	Cambio de Producto de Dogourmet Pollo a Dogourmet Carne			
19/10/2015	2:30 - 8:30 am	NA	0,00	0,00	0	900	0	0	# ¡DIV/0!
20/10/2015	2:30 - 8:30 am	NA	0,00	0,00	0	900	0	0	# ¡DIV/0!
21/10/2015	2:30 - 8:30 am	NA	0,00	0,00	0	900	0	0	# ¡DIV/0!
Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedio	t Parada	Observaciones			

1	2:30:00 a. m.	8:30:00 a. m.	0	# ¡DIV/0!	N/A	Pruebas AZRAEL (Gatos). El tiempo promedio del batch es de 16 min. Aumenta el porcentaje de harinas cárnicas y disminuye el de zootecnia. Al ser la materia prima tan grasosa se tapa la criba.			
23/10/2015	2:30 - 8:30 am	Donkan Carne USA B Perfil 1 Rep Genérico	0,10	0,64	37	1100	1068,67	2	0:10:13
Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedio	t Parada	Observaciones			
1	2:37:05 a. m.	5:47:28 a. m.	19	0:10:01	N/A				
2	6:21:39 a. m.	9:29:22 a. m.	18	0:10:26	0:34:11				

26/10/ 2015	2:30 - 8:30 am	Donkan Cereal USA B Perfil 1 Rep Genérico	0,03	0,65	33	1100	1062,204	3	0:09:28
Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedi o	t Parada	Observacio nes			
1	2:37:20 a. m.	3:43:41 a. m.	7	0:09:29	N/A				
2	4:05:53 a. m.	5:48:09 a. m.	11	0:09:18	0:22:12				
3	6:20:13 a. m.	8:44:20 a. m.	15	0:09:36	0:32:04				
28/10/ 2015	2:30 - 8:30 am		0,03	0,65	30	1100	1062,204	3	0:11:44
Ciclo	Inicio	Fin	No. Lotes	t Promedi o	t Parada	Observacio nes			
1	2:52:26 a. m.	3:48:19 a. m.	5	0:11:11	N/A	1. Se realizó el Cambio de Martillos			
2	3:56:06 a. m.	5:21:15 a. m.	7	0:12:10	0:07:47	2. Falla en cribas,			
3	5:34:13 a. m.	9:08:07 a. m.	18	0:11:53	0:12:58	aumento en el amperaje y tiempo del batch			

ANEXO F

Ficha Técnica electrodo revestido EutecTrode 680 CGS, Fuente: SAGER.

[En Línea] Disponible en:

<http://www.sager.com.co/peru/productos/soldaduras/eutectrode680cgs.html>

EutecTrode 680 CGS®

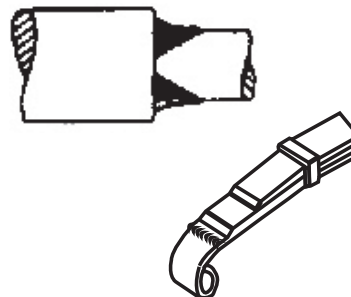
Alta resistencia al fisuramiento en la soldadura de aceros de difícil soldabilidad

CA, CC (+)
Punta Azul



CARACTERISTICAS PRINCIPALES

- Máxima resistencia a tracción.
- Excelente soldabilidad en aceros disímiles.
- Depósitos densos y libres de poros.
- Fácil remoción de escoria.
- Control metalúrgico del tamaño de grano.



PROCEDIMIENTO DE APLICACION

Limpie las zonas a soldar, elimine todo tipo de soldaduras antiguas y material fatigado y bisele con ángulo de 60°-70°. Precaliente solamente si el metal así lo requiere. Use CA o CC polaridad invertida. No se recomienda depositar cordones muy anchos; es preferible soldar varios cordones con poco o sin vaivén. El arco debe mantenerse lo más corto posible. Deje enfriar el cordón y luego elimine la escoria que saldrá fácilmente.

USOS

Reparación de resortes, ejes, cilindros hidráulicos, engranajes, herramientas, turbinas de agua, base de recubrimientos duros, cinceles de minería, etc.

AMPERAJES RECOMENDADOS

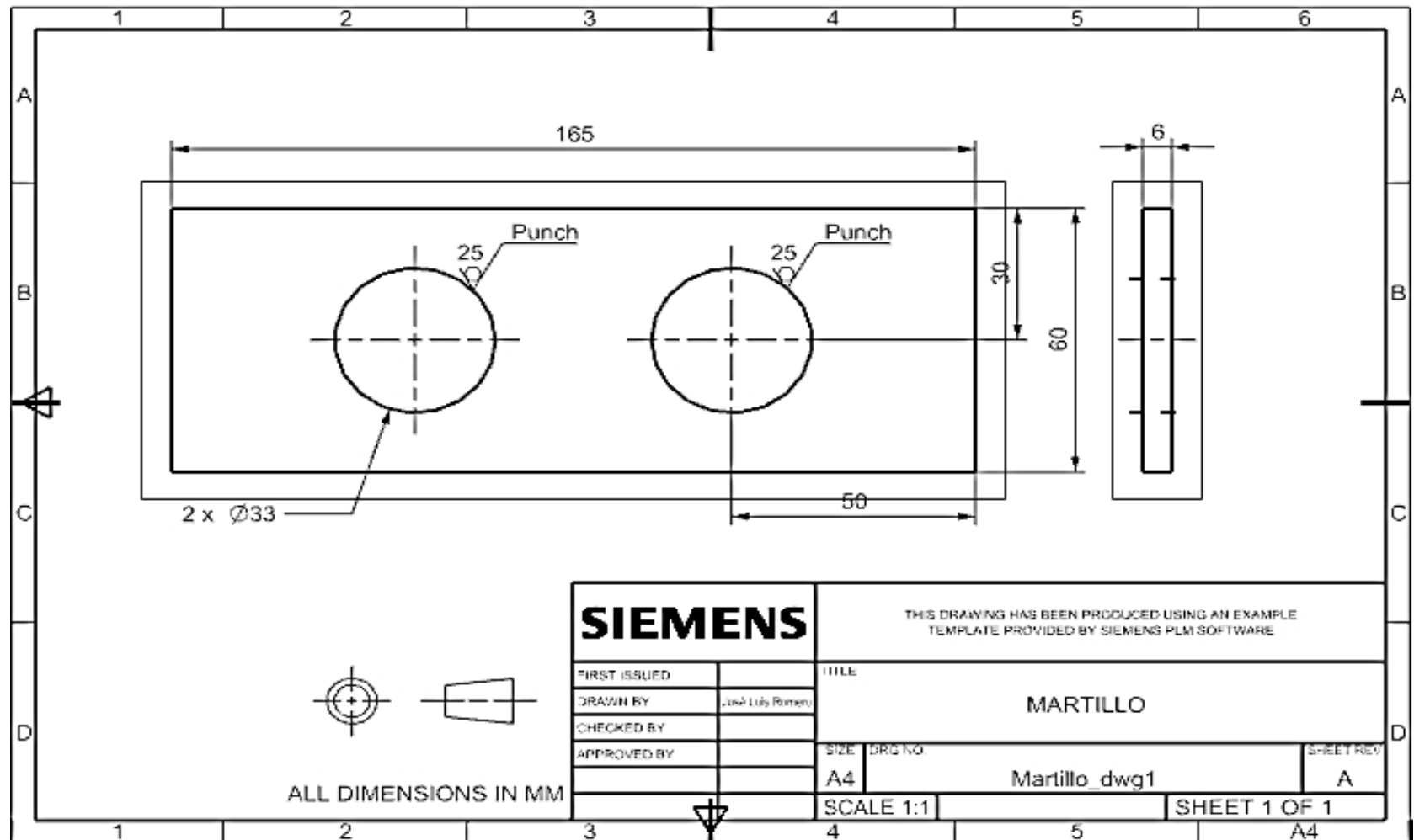
Ø Electrodo		3/32"	1/8"	5/32"	3/16"
Corriente (A)	Rango A	60-70	85-100	115-130	200-240
	Rango B	40-50	60-75	90-105	175-220

DATOS TECNICOS

Resistencia tensil : 750-830 N/mm² ($\cong$ 120,000PSI)
Límite de fluencia : 520 N/mm²
Alargamiento : 20-30%
Dureza : 210-250 HB

ANEXO G

Plano Martillo de Molienda Buhler



ANEXO H

Cotización Tecnirol S.A.S Fabricación Martillos para Molino Buhler, Fuente: Tecnirol S.A.S.

Bogotá D.C., 14 de enero de 2016

Señores: ALIMENTOS POLAR COLOMBIA S.A.S
Attn: JOSE ROMERO
Dirección: KM 33 CARRETERA VIA FACATATIVA
Teléfono: 6511777
Ciudad: BOGOTÁ

Cotización: 000000012119

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VALOR TOTAL
1	FABRICACION MARTILLOS ESPESOR 6 mm X 165 mm X 60 mm EN PLACA ANTI DESGASTE CON UNA DUREZA DE (450 HBS) PARA MOLINO BUHLER AREA MASCOTAS	152.00	60,000.00	9,120,000.00

Total de la cotización **9,120,000.00**

Son: nueve millones ciento veinte mil pesos moneda corriente

Observación:

1.En el momento de la emisión de la factura de los productos, a estos valores se adiciona el IVA vigente.

CONDICIONES COMERCIALES:

Tiempo de Entrega:

Validez de la Oferta: 30 días.

Atentamente:

TECNIROL S.A.S
ORLANDO VELASQUEZ RODRIGUEZ
Gerente General.
Tel:(1) 2385723

OLIVER SANCHEZ
Asesor Comercial.
Cel.: 312-4505149
E-mail: oliver.sanchez@tecnirol.com.co