

“Análisis del Costo del Mantenimiento Programado de un Hidropulper”

Juan Gabriel Peñafiel Bayona¹, Ignacio Vicente Wiesner Falconí²

¹ Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción - Escuela Superior Politécnica del Litoral
jpenafiel@panasa.com.ec

Ingeniero Mecánico, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción - Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1971; Postgrado en México, UNAM – Politécnico de México; Investigador Visitante del CENIM – España y el IPT – Brasil; Profesor de la FIMCP – ESPOL desde 1975, Campus Politécnico Prosperina Km. 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador,
intramet@hotmail.com

Resumen

La industria Papelera de hoy atraviesa un gran crecimiento y demanda de sus productos, lo que se ha reflejado en una simbólica inversión con fines de incrementar y mejorar sus procesos a nivel general, lo antes mencionado ha llevado este sector a ser a cada vez más competitivo, por lo que se ha convertido en una meta de suma importancia el reducir los costos por mantenimiento y adquisición de repuestos.

Este estudio está orientado a explicar los problemas de uno de los equipos más importantes para la producción de papel como es el desintegrador o hidropulper, así como a reducir el mantenimiento de uno de sus principales componentes como son las cuchillas, mediante el mejoramiento de la calidad de las mismas, una vez que se haya efectuado la selección del material que provea los mejores resultados para las condiciones de trabajo existentes en el interior del equipo.

Palabras Claves: *demanda, inversión, crecimiento, procesos, incrementar, producción, papel, hidropulper, mantenimiento, calidad, costos, plan de trabajo, resultados.*

Abstract

Today, the paper industry is undergoing a tremendous growth and demand for their products, so reducing the costs involved in the production process has become a priority. By the above this study proposes the use of knives produced locally by casting process, rather than imported components commonly used as original raw material divisive (hidropulper).

The results of this alternative are reflected directly in the costs of maintaining equipment, to display the reduction achieved is shown in tables and comparisons of the case

Keywords: *demand, investment, growth, processes, increase, production, paper, hidropulper, maintenance, quality, costs, work plan, results.*

Introducción

El paso fundamental para la producción de papel kraft en su presentación corrugado medio, a partir del empleo de material reciclado es la disgregación de la materia prima. Para tal efecto, las pacas de reciclado - OCC (Old corrugated container) ingresan a un desintegrador, equipo en el cual mediante la adición de agua y de la existencia de un rotor central con 6 cuchillas ó barras de desgaste instaladas en el fondo es posible lograr la desintegración del cartón y otros elementos ajenos al proceso ó impurezas metálicas y no metálicas. La presencia de materiales no deseados, tales como alambres, plásticos, entre otros, provocan un incremento en el desgaste en las cuchillas, dependiendo de la proporción en que se

encuentren e influyen en los índices de producción general de papel, especialmente en la productividad por las paradas provocadas por desgaste prematuro de los cuerpos de molienda.

Se considera como objetivo principal del presente trabajo profesional aumentar la capacidad de producción de la planta, incrementar la capacidad, rendimiento y eficiencia de los desintegradores (hidropulpers).

La selección de las cuchillas cortadoras se efectuará en base a las aplicaciones hoy conocidas en procesos con características similares, para lo cual se tomará en consideración las propiedades de los

materiales normalizados y la facilidad para hacerlos localmente.

1. PROCESO DE DISGREGACIÓN DEL PAPEL.

Características tecnológicas del proceso.

Con la finalidad de conocer la calidad de la materia prima, se efectúa la verificación de las pacas de cartón, en este control se comprueban los valores de humedad e impurezas con el propósito de catalogar cada uno de los embarques provenientes de las diferentes empresas recicladoras.

Cabe destacar que en caso de no cumplir con los valores establecidos 5% para impurezas y 12% para humedad, la materia prima sufre un castigo con un costo inferior, luego de la verificación, las pacas de cartón son almacenadas en los patios de la empresa.



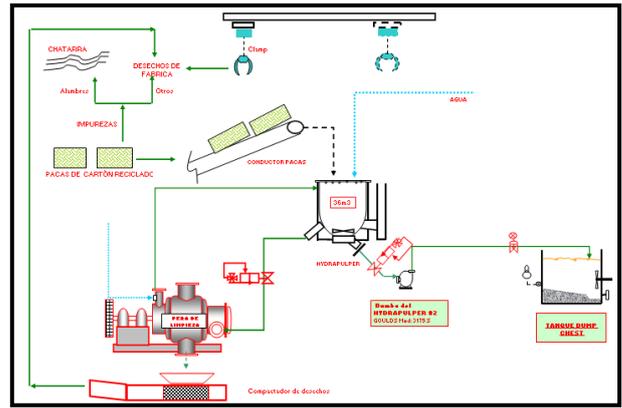
MATERIA PRIMA

Los principales elementos removidos son: alambres, plásticos, espumas, metales varios, materia con grasa, cal, cemento, entre otros.



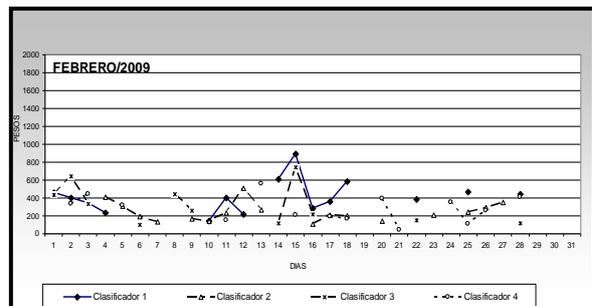
RETIRO DE IMPUREZAS

El uso de cartón reciclado simboliza un gran ahorro si se considera que el costo de utilizar materia limpia (DKL) para la producción de papel es aproximadamente cuatro veces superior.



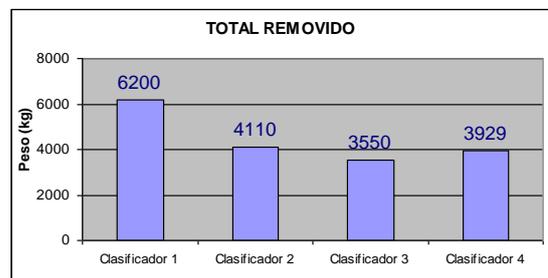
Control de pesos clasificadores de materia prima

Los valores mostrados en el gráfico presentado a continuación, corresponden a los kilogramos de alambre retirados por el personal clasificador en corridas mensuales de corrugado medio, en este cuadro se evidencia un máximo diario de 890Kg y un mínimo de 39kg.



PESO DE ALAMBRES RETIRADOS DIARIAMENTE.

A continuación se muestra el peso acumulado en kilogramos durante el mes de febrero del año 2010, para cada uno de los clasificadores de materia prima. Se observa un valor máximo de 6200Kg y un mínimo de 3550Kg.



TOTAL KILOGRAMOS DE ALAMBRE REMOVIDOS

Posterior a la remoción manual de impurezas, las pacas de cartón ingresan al desintegrador, la alimentación de la materia prima se efectúa mediante un transportador, a través de éste se introducen las pacas conforme se va

preparando la pasta de papel luego de que se mezcla con agua de proceso y gracias a la constante agitación provocada por el equipo.



TRANSPORTADOR DE PACAS



ALIMENTACIÓN DE MATERIA PRIMA

A continuación se muestran las características de uno de los cuatro desintegradores con los que se cuenta actualmente:

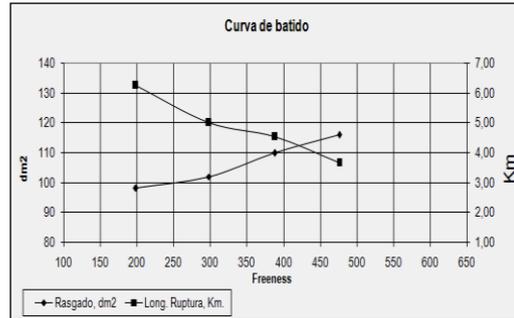
**TABLA 1
CARACTERÍSTICAS DEL
DESINTEGRADOR**

Datos del Desintegrador (Hidropulper).	
*	
Material a manejar:	OCC
Capacidad:	36 m3
Diámetro:	168"
Altura:	108"
Motor:	200 Hp
Velocidad de entrada:	1200 rpm
Velocidad de salida, reductor:	335 rpm
Consistencia de trabajo:	3.50%
Diámetro, perforaciones de plato de extracción:	1/2"
Diámetro de rotor:	42"

*Ver dibujos en el apéndice.

La preparación de la pulpa de papel depende directamente del tiempo de disgregación, el mismo que esta dado por la curva de batido, a partir de la cual y de la historia del proceso se establece el tiempo

de batido de 10 a 40 minutos, teniendo frecuentemente como tiempo óptimo 25 minutos.



CURVA DE BATIDO

En el gráfico mostrado en la parte superior se aprecia la intersección de las curvas de rasgado (medido en dm2) y longitud de ruptura (medida en Km.)

Descripción del problema local.

En el proceso de producción de papel es fundamental la disgregación de las pacas de cartón, para tal efecto se cuenta con un equipo de desintegración conocido con el nombre de hidropulper, en el interior de este equipo mediante la adición de agua se prepara la pasta de papel, cuya consistencia varía dependiendo de la cantidad de líquido suministrado.

El principal problema que se evidencia en el desintegrador de papel, es el desgaste que sufren algunos elementos, principalmente las placas cortadoras, como consecuencia del mismo papel que es básicamente celulosa y de las impurezas existentes entre las pacas de cartón, en donde se encuentran materiales como: alambres, metales varios, arena, espuma, plásticos, entre otros.

**TABLA 2
FRECUENCIAS DE CAMBIO DE
CUCHILLAS NÚMERO DE CAMBIOS.**

Mes	2008	2009
Enero	1	
Febrero	1	1
Marzo	1	1
Abril	1	2
Mayo	2	
Junio	1	
Julio	1	1
Agosto		1
septiembre	1	1
Octubre	1	
Noviembre		1
Diciembre	1	1
Total general	11	9

En el año 2008 el número de cambios de placas cortadoras efectuados en el desintegrador fueron de 11, mientras que en el 2009 fueron 9, tal como se indica en la tabla 2 mostrada anteriormente. Estos cambios efectuados han representado un alto valor económico por concepto de consumo de repuestos (cuchillas) y mano de obra tal como se presenta en las siguientes tablas.

**TABLA 3
COSTO MANO DE OBRA CONTRATISTA**

	2008	2009
Número de cambios efectuados	11	9
Costo mano de obra, contratista	\$ 150	\$ 150
Costo anual	\$ 1,650	\$ 1,350

Valor es solo por cambio y calibración de placas cortadoras y no incluye iva.

**TABLA 4
COSTO POR USO DE REPUESTOS
(CUCHILLAS)**

	2008	2009
Número de cambios efectuados	11	9
Costo juego de cuchillas importadas	\$ 2,676	\$ 2,676
Costo anual	\$ 29,436	\$ 24,084

Si se suman los totales mostrados en las tablas 3 y 4 para cada uno de los años, se obtiene que en el 2008 se invirtieron \$ 31086, mientras que en el 2009 el monto es de \$ 25434, lo que es alto rubro, considerando que los valores mostrados son solo por concepto de uno de los desintegradores de la planta.

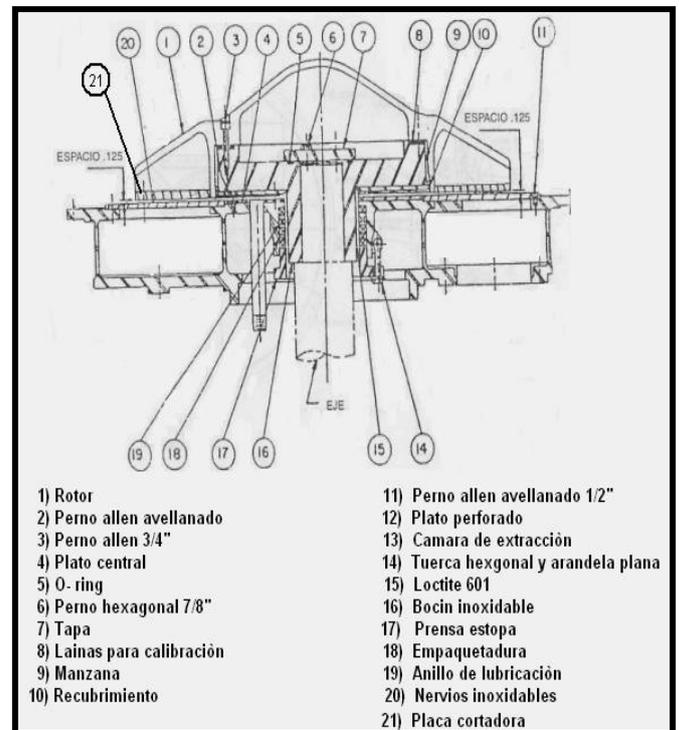


**CUCHILLA Y PLATO DE EXTRACCIÓN
DESGASTADOS**

Durante la realización de trabajos de mantenimiento y previo a la operación del equipo se verifican todas las recomendaciones dadas por el fabricante del equipo con la finalidad de obtener la

mejor eficiencia, para tal efecto se toman en consideración aspectos como:

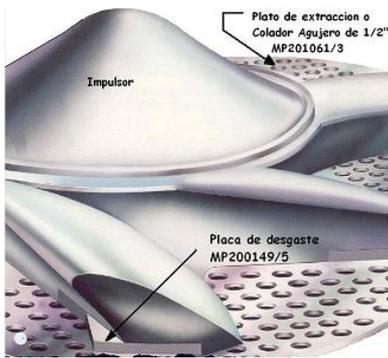
- El paralelismo de las caras del plato perforado o también llamado plato de extracción.
- Las dimensiones de los nervios de acero inoxidable que trabajan en la parte superior del plato de extracción, siendo estas 1" x 1/8" x 12".
- El diámetro de las perforaciones del plato perforado, pudiendo ser estas de 1/2" o 3/8".
- La luz de trabajo entre las cuchillas y los nervios del plato de extracción, la misma que debe estar comprendida entre 0.06"(1.5mm) a 0.12" (3mm).
- El diámetro del rotor, 38" o 42".
- El ajuste de la manzana con en el eje, sobre la cual asienta el rotor.
- El paralelismo del plato central que trabajo bajo la manzana.
- El estado del eje.
- La luz entre el bocín y el estopero 0.001" (0.025mm).
- El torque de apriete para los pernos.
- El balanceo del rotor
- El estado de la caja reductora.



DESINTEGRADOR.

El gráfico superior indica los componentes del desintegrador y la tolerancia para la luz de trabajo de las cuchillas 0.06"(1.5mm) a 0.12" (3mm). En la práctica siempre se usa el valor inferior para evitar que el alambre

se enrede alrededor del eje o que la pulpa se aloje dentro del cuerpo del rotor.



ROTOR

Debido a la gran presencia y acumulación de impurezas, al momento se cuenta con dos mecanismos para el desalojo de estas. La mayor cantidad de impurezas esta comprendida por: alambres, plásticos, espuma, etc.



RETIRO DE IMPUREZAS

A diferencia del método anterior este desalojo de impurezas se lleva a cabo mientras el equipo está operando, la materia removida es compactada en forma de bloques rectangulares y dispuesta como relleno junto con el resto de los rechazos de la planta.



SISTEMA DE LIMPIEZA - PERA

Los materiales empleados, sus características y principales usos recomendados serán mostrados más adelante.

Barras de desgaste y aleaciones normalizadas usadas.

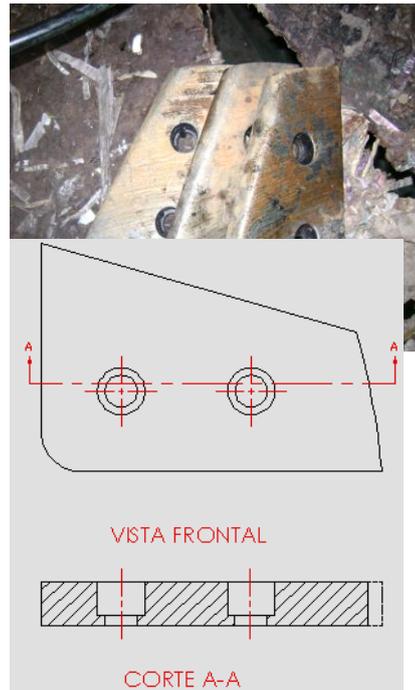
Las placas de desgaste suministradas por los proveedores extranjeros y locales se catalogaron dependiendo de las aleaciones que las componen, para tal efecto se emplea como base la designación dada por la AISI / SAE y ASTM.

En el caso de las cuchillas importadas se enviaron diferentes muestras de dos proveedores para la realización de análisis metalográfico, análisis químico y dureza de laboratorio, con lo cual fue posible identificar el material utilizado en su fabricación.

Para el caso de las placas construidas localmente se emplearon manuales de empresas comercializadoras de aceros para usos especiales.

A continuación se muestran las placas de desgaste utilizadas en los equipos desintegradores.

PL
AC
A
DE
DE
SG
AS
TE
ES
QU
EM
A
DE
PL
AC
A
DE
DE
SG
AS
TE



2.

SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Plan de trabajo para sustitución de placas por procedencia local

El plan de trabajo para la sustitución de las placas importadas por unas de procedencia local, comienza con la aplicación de métodos de ingeniería de materiales y la facilidad para ser manufacturadas localmente, pero siempre teniendo en consideración el monto que represente la construcción de mismas, para alcanzar el objetivo de disminuir los costos por cada

juego de cuchillas adquirido y de tratar de lograr un incremento en el tiempo de servicio de estos elementos, hasta finalmente llegar a la fase de prueba en un desintegrador y poder registrar las toneladas de materia prima disgregada alcanzada.

Proceso de investigación y desarrollo para las placas de prueba.

Con el objetivo de disminuir el valor económico de cada juego de cuchillas empleadas en un hidropulper y de asegurar que la rotación de placas no se vea afectada por problemas imprevistos que estén relacionados con la mala calidad del material. Surge la necesidad de buscar nuevas alternativas locales que sustituyan a las actuales placas de procedencia extranjera, para lo cual se probó inicialmente con la opción de los aceros aleados suministrados por dos casas comerciales, Ivan Bohman y Aceros Bohler (SAE 403 y SAE 410) y una tercera opción que implica el uso de cuchillas fabricadas mediante fundición blanca aleada (ASTM A532). Para efectos de plantear una alternativa, se debe conocer las condiciones a las que están sometidas las placas cortadoras, para las condiciones de trabajo existe una combinación de tres factores de desgaste:

1. Abrasión
2. Fricción
3. Corrosión

Dependiendo del tipo del tipo aleación y sus características, los hierros blancos aleados son ampliamente utilizados en procesos que presenten las siguientes tres características de servicio:

1. Condiciones corrosivas.
2. Servicio a elevadas temperaturas
3. Condiciones de desgaste y resistencia a la abrasión.

Para condiciones corrosivas las aleaciones empleadas están dadas por combinaciones con:

- Níquel
 - Altas concentraciones de silicio.
- Entre los usos conocidos se tienen: bombas para agua de mar, y equipos en ambientes marinos, manejo de ácidos orgánicos, inorgánicos y alcalinos.

En el caso de elevadas temperaturas en el proceso, se recomienda el uso de aleaciones con:

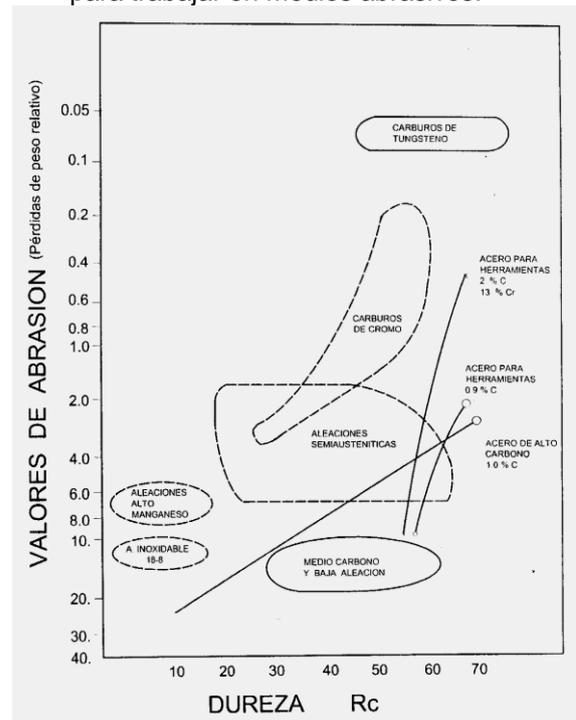
- Níquel,
- Altas concentraciones de silicio,
- Aluminio
- Altas concentraciones de cromo.

Sus principales usos son: válvulas, pistones, elementos para turbinas a gas, incineradores entre otros.

Para el caso en particular, donde las características del proceso están dadas por condiciones de desgaste y abrasión, las aleaciones a utilizar pueden ser:

- Níquel – Cromo.
- Altas concentraciones de cromo.
- Molibdeno – Cromo.

En el siguiente gráfico se muestran las pérdidas relativas de material y la dureza de varios tipos de elementos, dentro de los cuales se observa la superioridad de los carburos de cromo para trabajar en medios abrasivos.



VALORES DE ABRASIÓN Y DUREZA

La especificación ASTM A532 cubre la composición y durezas de las fundiciones blancas para aplicaciones de resistencia a la abrasión, a continuación se muestran los elementos y valores dados según esta norma:

TABLA 5

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE FUNDICIONES BLANCAS RESISTENTES

**A LA ABRASIÓN SEGÚN
ESPECIFICACIÓN ASTM A532**

Clase	Tipo	Designación	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo
I	A	Ni-Cr-HC	3.0	1.3	0.8	3.3	1.4	1.0
			a	max	max	a	a	a
			3.6	max	max	5.0	4.0	max
I	B	Ni-Cr-LC	2.5	1.3	0.8	3.3	1.4	1.0
			a	max	max	a	a	a
			3.0	max	max	5.0	4.0	max
I	C	Ni-Cr-GB	2.9	1.3	0.8	2.7	1.1	1.0
			a	max	max	a	a	a
			3.7	max	max	4.0	1.5	max
I	D	Ni-Hi Cr	2.5	1.3	0.8	5.0	7.0	1.0
			a	max	max	a	a	a
			3.6	max	2.2	7.0	11.0	max
II	A	12% Cr	2.4	0.5	1.0	0.5	a	a
			a	a	1.0	0.5	a	a
			2.8	1.5	max	max	14.0	1.0
II	B	15% Cr-Mo-LC	2.4	0.5	1.0	0.5	a	a
			a	a	1.0	0.5	a	a
			2.8	1.5	max	max	18.0	3.0
II	C	15% Cr-Mo-HC	2.8	0.5	1.0	0.5	a	a
			a	a	1.0	0.5	a	a
			3.6	1.5	max	max	18.0	3.5
II	D	20% Cr-Mo-LC	2.0	0.5	1.0	1.5	a	1.5
			a	a	1.0	1.5	a	1.5
			2.6	1.5	max	max	23.0	max
II	E	20% Cr-Mo-HC	2.6	0.5	1.0	1.5	a	a
			a	a	1.0	1.5	a	a
			3.2	1.5	max	max	23.0	2.0
III	A	25% Cr	2.3	0.5	1.0	1.5	a	1.5
			a	a	1.0	1.5	a	1.5
			3.0	1.5	max	max	28.0	max

**TABLA 6
DUREZAS SEGÚN ESPECIFICACIÓN
ASTM A532**

Clase	Tipo	Designación	Dureza Brinell	Típica sección máxima	
			Dureza min.	pulgadas	milímetros
I	A	Ni-Cr-HC	-	8	200
I	B	Ni-Cr-LC	-	8	200
I	C	Ni-Cr-GB	-	3 dia ball	75 dia ball
I	D	Ni-Hi Cr	600	12	300
II	A	12% Cr	600	1 dia ball	25 dia ball
II	B	15% Cr-Mo-LC	600	4	100
II	C	15% Cr-Mo-HC	600	3	75
II	D	20% Cr-Mo-LC	600	8	200
II	E	20% Cr-Mo-HC	600	12	300
III	A	25% Cr	600	8	200

**3. EVALUACIÓN TÉCNICO –
ECONÓMICA**

**Evaluación de pruebas de desgaste de
placas.**

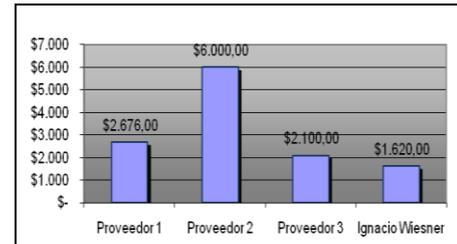
La evaluación de las placas de desgaste se efectuó durante una corrida completa de papel corrugado medio, es decir que se consumió 100% OCC en el hidropulper en el cual estaban instaladas.

Lo antes descrito denota que las propiedades del hierro blanco aleado superaron ampliamente a las cuchillas

construidas localmente con acero para trabajo en frío AISI / SAE 01 (K460 según denominación BOHELER ó como DF2 según denominación de IVAN BOHMAN C.A.) con una dureza de 56RC, que hasta ese entonces habían sido la referencia a considerar.

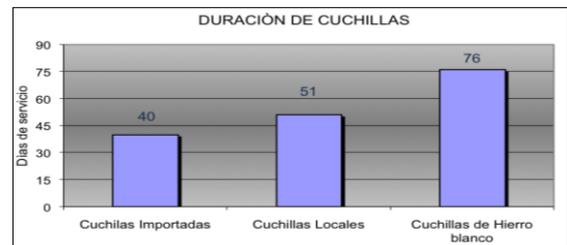
Evaluación de costos.

Luego de efectuadas las pruebas correspondientes, se evidenció principalmente la reducción del costo de cada juego de cuchillas comprado.



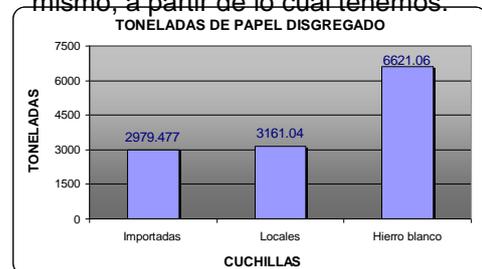
**COMPARACIÓN DE COSTOS POR
CADA JUEGO.**

Si la diferencia existente en días es expresada como porcentaje, se observa un incremento en la vida de servicio del 47%.



TIEMPO DE SERVICIO

A partir de los días de servicio alcanzado, es posible efectuar la comparación del total de toneladas disgregadas por el equipo con cada una de las cuchillas instaladas en el mismo, a partir de lo cual tenemos:



TONELADAS DE PAPEL PROCESADAS

**TABLA 7
AHORRO ALCANZADO**

Número de cambios a efectuar	5
Costo mano de obra, contratista	\$ 150
Costo anual	\$ 750
Valor es solo por cambio y calibración de placas cortadoras y no incluye iva.	
Diferencia respecto al 2009	\$ 600

Número de cambios a efectuar	5
Costo juego de cuchillas Hierro blanco aleado	\$ 1,620
Costo anual	\$ 8,100
Diferencia respecto al 2009	\$ 15,984

En la tabla 7 se aprecia una disminución de \$ 16584 respecto al 2009 que comprende el valor por mano de obra para la instalación y el costo de las cuchillas.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se cumplió con el objetivo de incrementar la producción de papel disgregado en un desintegrador (hidropulper), obteniéndose un aumento del 48%.
- Se logró un incremento de 24 días en la vida útil de servicio de las cuchillas de un desintegrador, en comparación con las construidas localmente en acero AISI / SAE 01 que hasta antes de este estudio eran la referencia a considerar.
- Se disminuyó el costo por juego de cuchillas en un 60.5% (\$1,056) si se compara con el proveedor uno (importadas), esta mejora también implica la disminución en tiempos de entrega y la eliminación de aranceles para este caso en particular.
- Se comprobó la superioridad del hierro blanco aleado sobre los aceros para trabajos en frío, para condiciones de abrasión y desgaste, además de representar un costo inferior, al obtenerse un incremento de 3460.02 toneladas disgregadas adicionales, pasándose de 3161.04ton a 6621.06 ton.
- El uso de la normalización ASTM (A532) con calidad certificada es superior a los aceros especiales puesto que tienen mayor cantidad de carburos

de cromo en su micro estructura, lo que hace apto el material contra el desgaste

Recomendación

- El uso de materiales importados no significa la mejor elección para aplicaciones específicas, en el presente caso se ha demostrado que es de suma importancia la aplicación de los principios básicos que incluyen la selección de los metales, la práctica de la mejora continua, sumado a los nuevos parámetros de producción en la empresa prácticamente obligó a buscar otras opciones y fue bueno porque se conoció otra realidad. Por lo tanto y sustentado en esta acción exitosa, sugiero a la FIMCP (Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción) haga difusión de las tecnologías que tiene como propias, a fin de beneficiar la producción nacional, mejorando sus procesos y métodos de trabajo sin estar sujeto a prácticas existentes de bajo rendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASM HandboCK – Volumen 1, Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys
2. HandboCK Cast alloy – White and high alloy irons
3. Tappi 01/02 Technical Information Papers-Tappi-2001
4. Kadant – Hydrapulper
5. Catalogue Pulping System2008
6. Curso Producción de Papel- Departamento Madera, Celulosa y Papel-Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías- Universidad de Guadalajara-Bruno Becerra Aguilar
7. RONALD MACDONALD, Papermaking and Paperboard Making, Second edition, 1970, McGraw Hill.
8. BTG PULP & PAPER TECHNOLOGY AB, Accurate consistency, Saffle Sweden, 1999.
9. OPTIMA TECHNICAL BULLETIN, Low consistency refiner system design considerations, Volume 6 1994
10. Rober L. Norton, Diseño de maquinas, Editorial Prentice Hall, Mexico 1999.