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 el rendimiento y la eficiencia de los desintegradores (hidropulpers).

La realización de este estudio también está orientada a disminuir los costos por mantenimiento no programado de un desintegrador, razón por la que considera mejorar la calidad de las placas cortadoras, sustituir la importación, eliminar el tiempo hora – hombre empleado en recuperar las placas de corte

mediante el proceso soldadura SMAW para la colocación de aportes duros, terminar con las paradas no planificadas por fractura de cuchillas por la falta de tenacidad del material para absorber impactos. Para lograr todos estos objetivos se ensaya la provisión local de cuchillas basados en la información bibliográfica de ingeniería sobre los materiales apropiados para el trabajo del desintegrador.

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.

Los resultados de éste trabajo se evaluarán una vez que se efectúen las comparaciones respectivas entre los índices de producción existentes y aquellos obtenidos una vez concluido este estudio, considerando también los cambios en los costos involucrados por el cambio de tecnología de elaboración de las partes de desgaste que como en casi todos los casos a la ingeniería nacional se le exige que sean productos mejores y más baratos.

CAPÍTULO 1

PROCESO DE DISGREGACIÓN DEL PAPEL.

1.1 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, punto desde el cual son suministrados para cada uno de los molinos.

Figura 1. Materia prima

Como siguiente etapa del proceso se efectúa la remoción manual de las impurezas presentes entre las pacas de cartón, con el objetivo de disminuir la presencia de materiales extraños que pudieren afectar la calidad del producto final, de alargar la vida de los elementos de desgaste tales como las cuchillas cortadoras del desintegrador, de los discos de los equipos de refinación y de no saturar la capacidad del sistema de limpieza instalado en el área de preparación de pasta.

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

De todas las impurezas antes mencionados, una de las más abundantes es el alambre de acero u otro metal, motivo por el cual se controla el peso en kilogramos retirados por cada persona clasificadora en la línea de limpieza.

Figura 2. Retiro de impurezas

A continuación se muestra el diagrama de flujo correspondiente a la etapa de disgregado. 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.

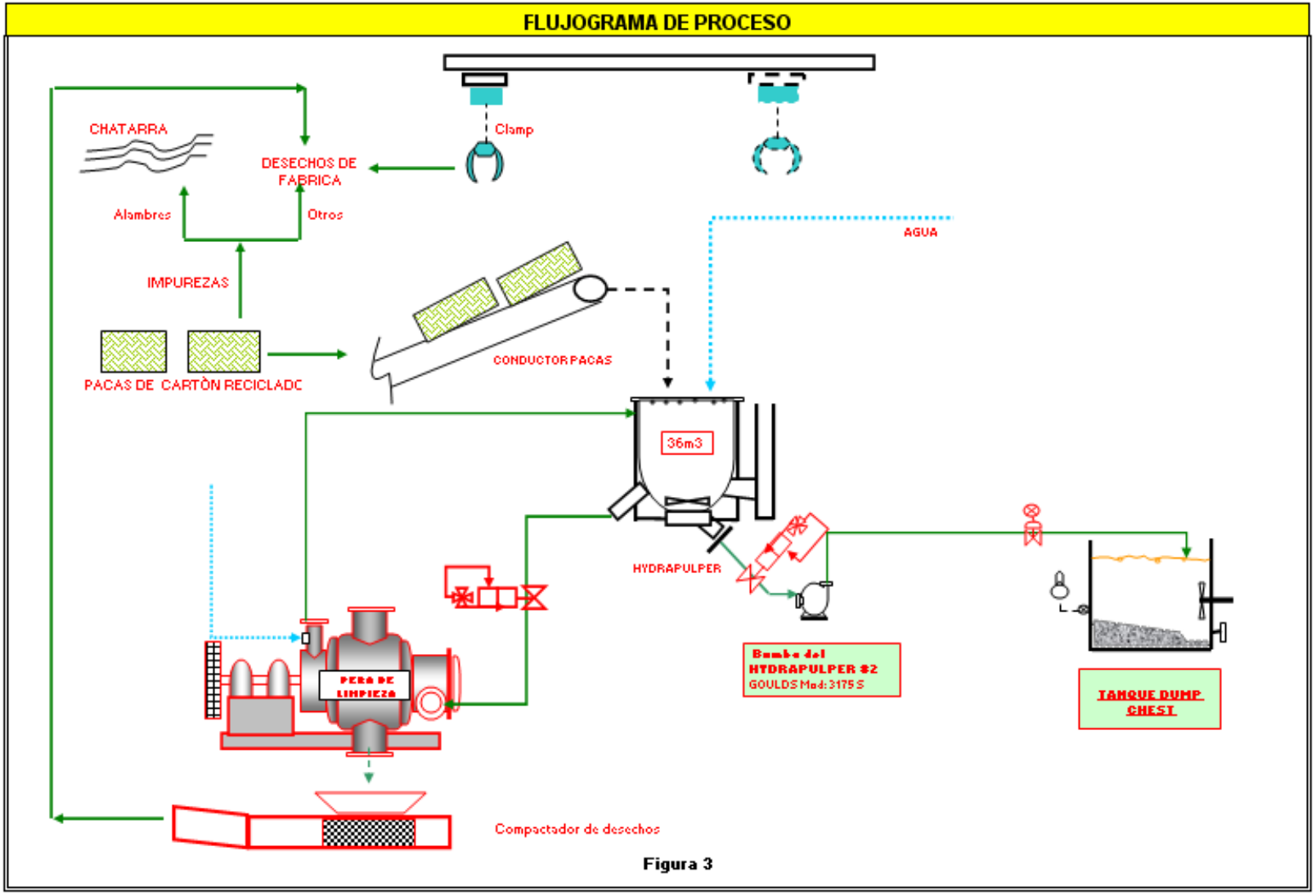

FLUJOGRAMA DE PROCESO
CHATARRA
DESECHOS DE FABRICA
Clamp
Alambres
Otros
AGUA
IMPUREZAS
PACAS DE CARTÒN RECICLADO
CONDUCTOR PACAS
36m3
HYDRAPULPER
Bomba del HYDRAPULPER #2
GOULDS Mod: 3175 S
TANQUE DUMP CHEST
PERA DE LIMPIEZA
Compactador de desechos

Figura 3

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.

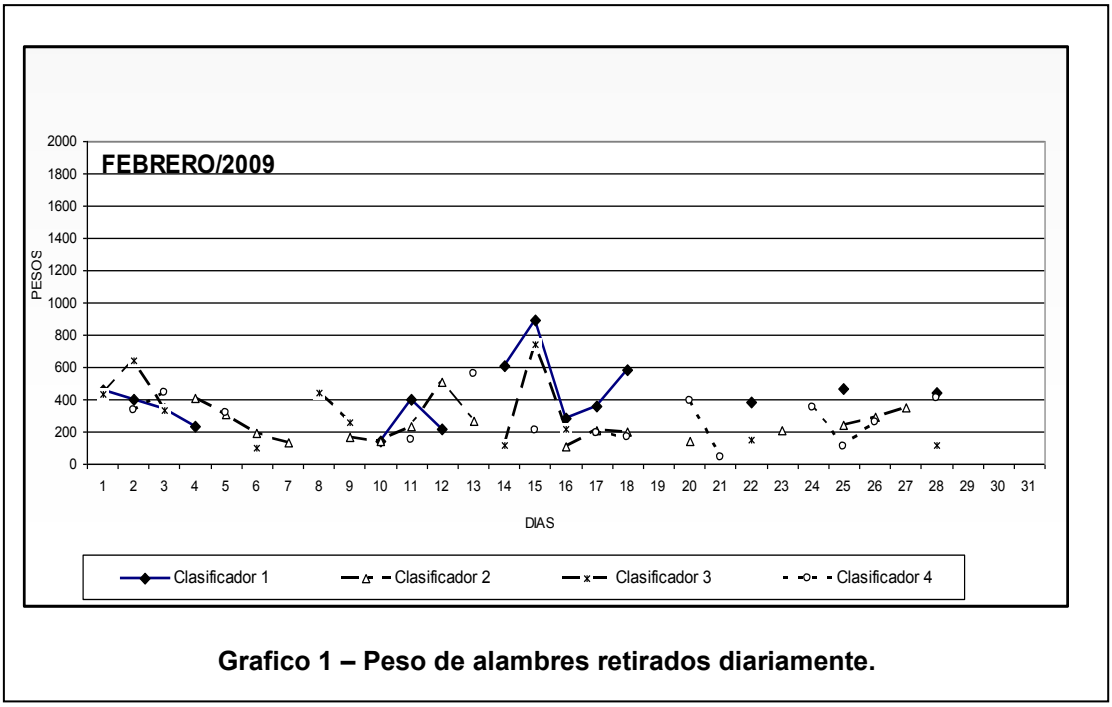


Grafico 1 – Peso de alambres retirados diariamente.

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.

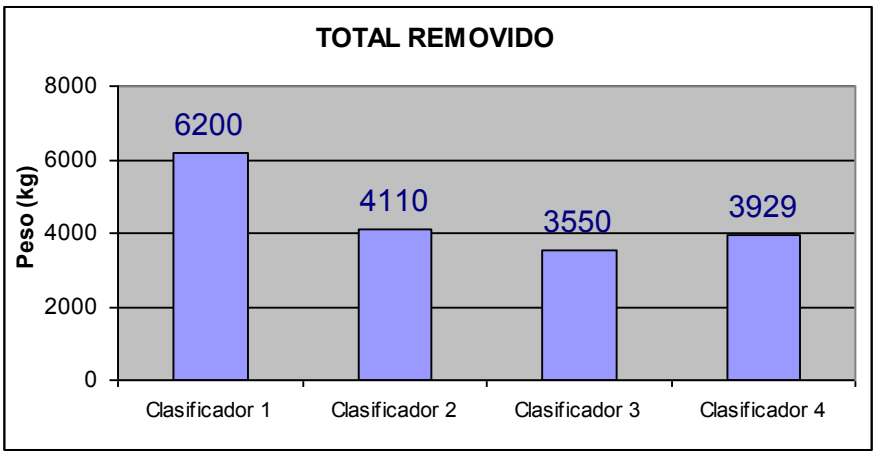


Grafico 2 – Total kilogramos de alambre removidos

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. Para la preparación de la pasta en el desintegrador se emplea una proporción de ¼ de la capacidad del hidropulper (36 m3), y luego ingresan las pacas de OCC.

Figura 4. Transportador de pacas

Figura.5 Alimentación de materia prima

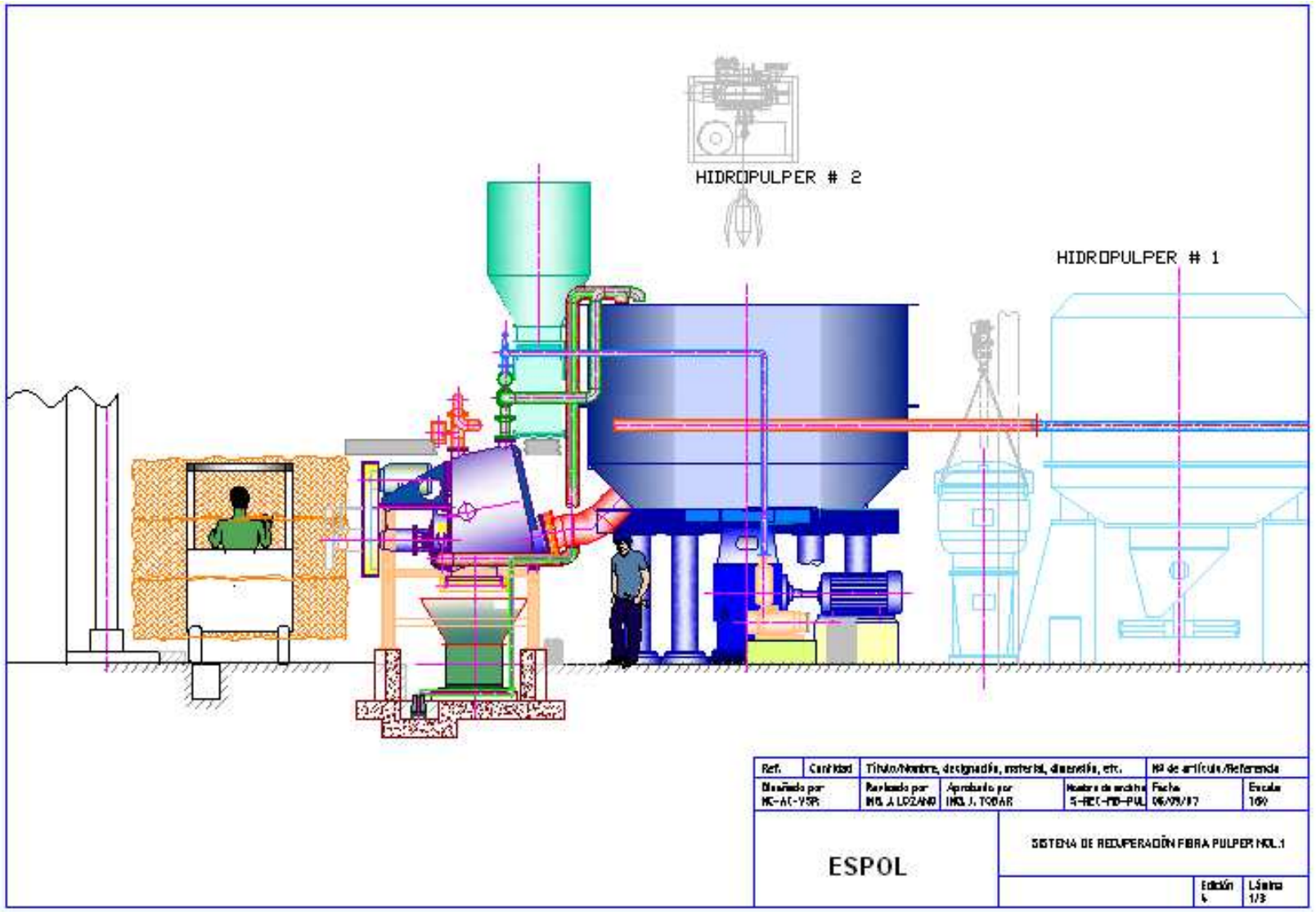
La función principal del desintegrador o hidropulper es formar la pasta de papel en su interior, esto mediante un rotor central que cuenta con seis cuchillas o placas de desgaste las cuales en cada revolución trituran los sólidos presentes y facilitan la conducción de esta mezcla mediante bombas centrifugas hasta su siguiente etapa del proceso en la que ingresarán al sistema de depuración para ser limpiada paulatinamente conforme vaya atravesando cada una de las estaciones de remoción de impurezas y luego ser refinada antes de ingresar a la mesa de formación en la que se extrae el agua contenida en el papel y se comienza a dar forma a la hoja.

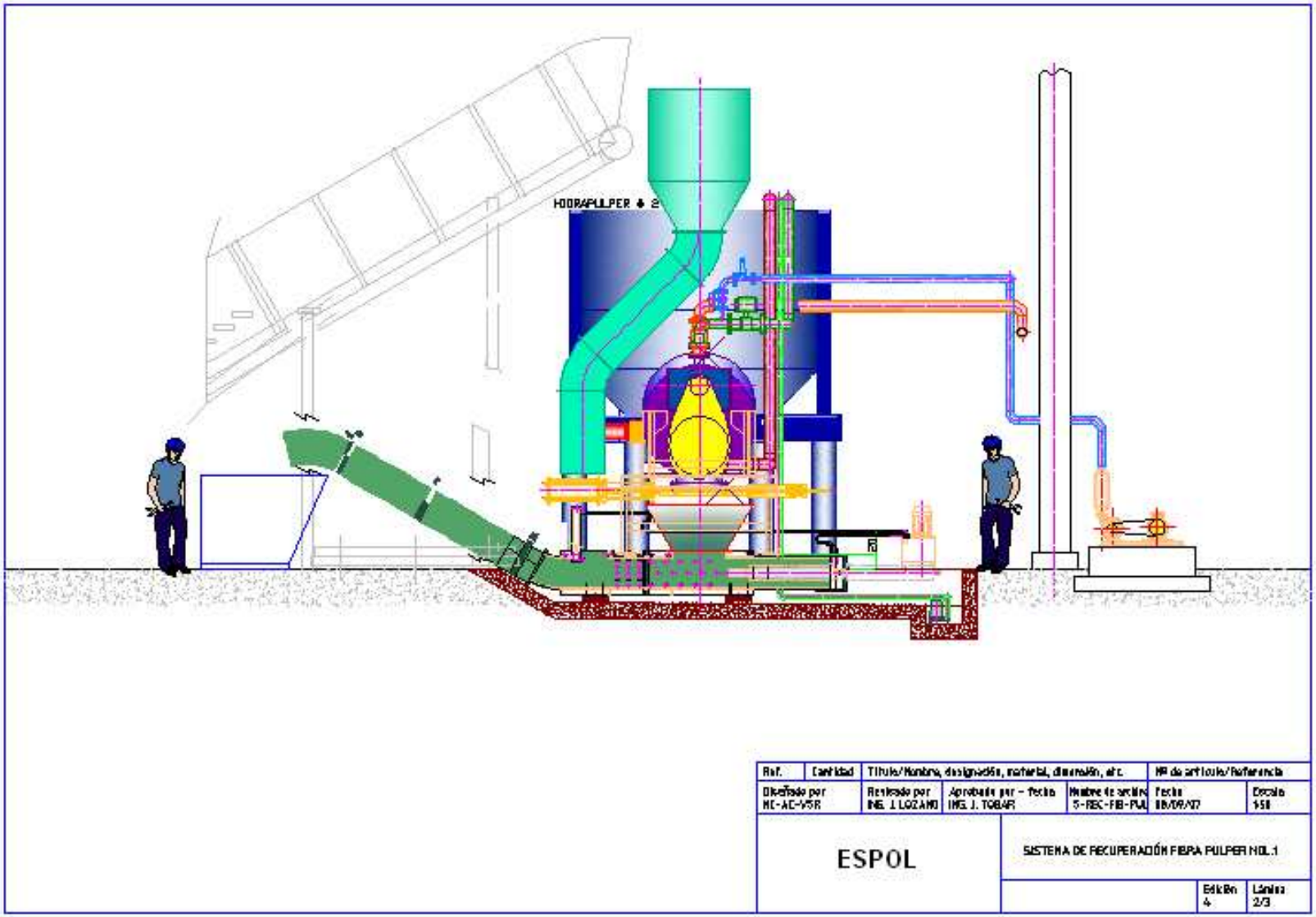
A continuación se muestran las características de uno de los cuatro desintegradores con los que se cuenta actualmente:

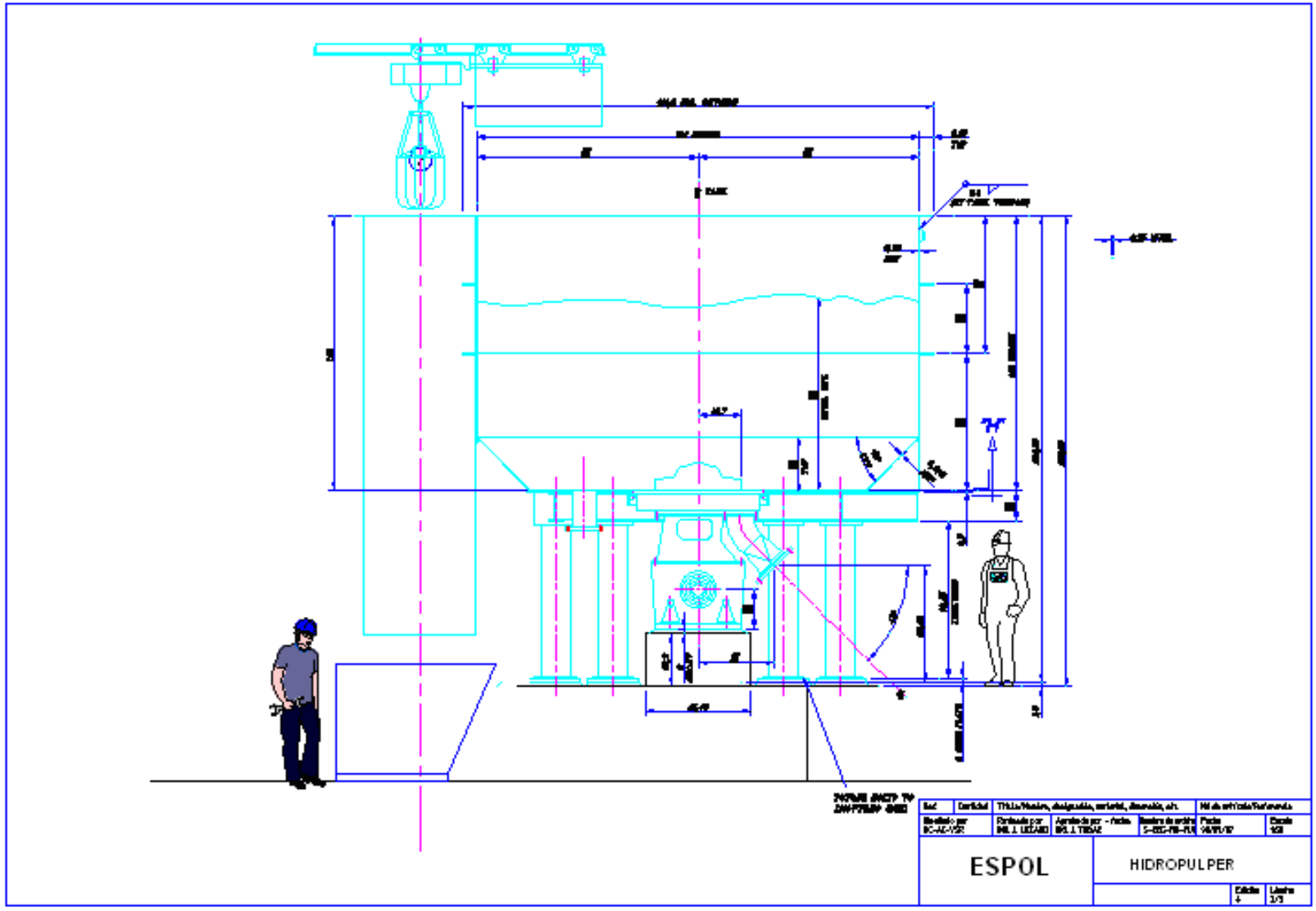
Datos del Desintegrador (Hidropulper). *	
Material a manejar:	OCC
Capacidad:	36 m3
Diámetro:	168”
Altura:	108”
Motor:	200 Hp
Velocidad de entrada:	1200 rpm
Velocidad de salida, reductor:	335 rpm
Consistencia de trabajo:	3.50%
Diámetro, perforaciones de plato de extracción:	½”
Diámetro de rotor:	42”

Tabla 1. Características del desintegrador

* Ver planos del equipo a continuación.


HIDROPULPER # 2
HIDROPULPER # 1
Ref.
Cantidad
Título/Nombre, designación, material, dimensión, etc.
Nº de artículo/Referencia
Diseñado por
Revisado por
Aprobado por
Nombre de archivo
Fecha
Escala
ESPOL
SISTEMA DE RECUPERACIÓN FIBRA PULPER NO.1
Edición
Lámina


HIDRAPULPER # 2
Ref. | Cantidad | Título/Nombre, designación, material, dimensión, etc. | Nº de artículo/Referencia
Diseñado por ING-AC-VSR | Revisado por ING. J. LOZANO | Aprobado por – Fecha ING. J. TOBAR | Nombre de archivo S-REC-FIB-PUL | Fecha 08/09/07 | Escala 1:50
ESPOL
SISTEMA DE RECUPERACIÓN FIBRA PULPER NO.1
Edición 4 | Lámina 2/3


ESPOL
HIDROPULPER

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.

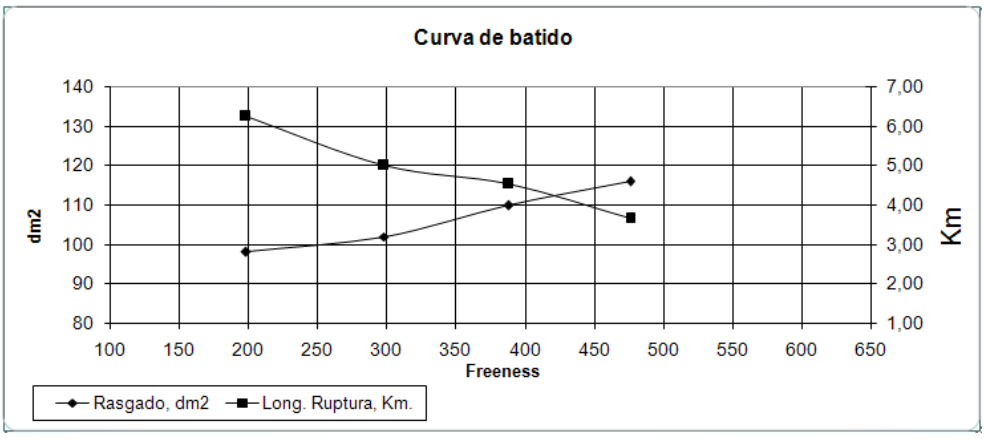


Grafico 3 – Curva de batido

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.)

Para este caso en particular el punto óptimo de batido arroja un freeness (medida de refinación) de 420, este valor es una referencia al momento del drenaje del agua presente en la pasta de papel.

La determinación de los valores de rasgado y de longitud de ruptura son indicativos de las propiedades físicas del producto final.

1.2 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. Para poder triturar el cartón en el fondo del desintegrador se cuenta con un rotor con sus elementos de corte, del correcto funcionamiento de estos componentes dependerá en gran parte el rendimiento del equipo.

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.

Hasta el momento la calidad de las cuchillas empleadas no ha garantizado un correcto desempeño de estos elementos de corte, llegándose a presentar fallas a corto plazo, lo que ha provocado que en mas de una ocasión se efectúe el cambio de las placas cortadoras dos veces en un mismo mes, tal como se observa en la tabla siguiente en los meses de mayo y abril durante los años 2008 y 2009 respectivamente.

FRECUENCIAS DE CAMBIO DE CUCHILLAS		
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

Tabla 2. Número de cambios.

A la deficiente calidad de las placas cortadoras se suma un alto costo y el hecho de ser importadas, motivos por los cuales surge la imperiosa necesidad de encontrar un mejor material y una alternativa local de fabricación que represente una menor inversión y un incremento en el ciclo de vida. Todo esto con la finalidad de mejorar el rendimiento del desintegrador, contribuyendo de esta forma en el aumento de las toneladas de papel procesado en este equipo.

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.

	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 calibraciòn de placas cortadoras y no incluye iva.

Tabla. 3 - Costo mano de obra contratista

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

Tabla 4.- Costo por uso de repuestos (cuchillas)

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.

Figura. 6 - 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:

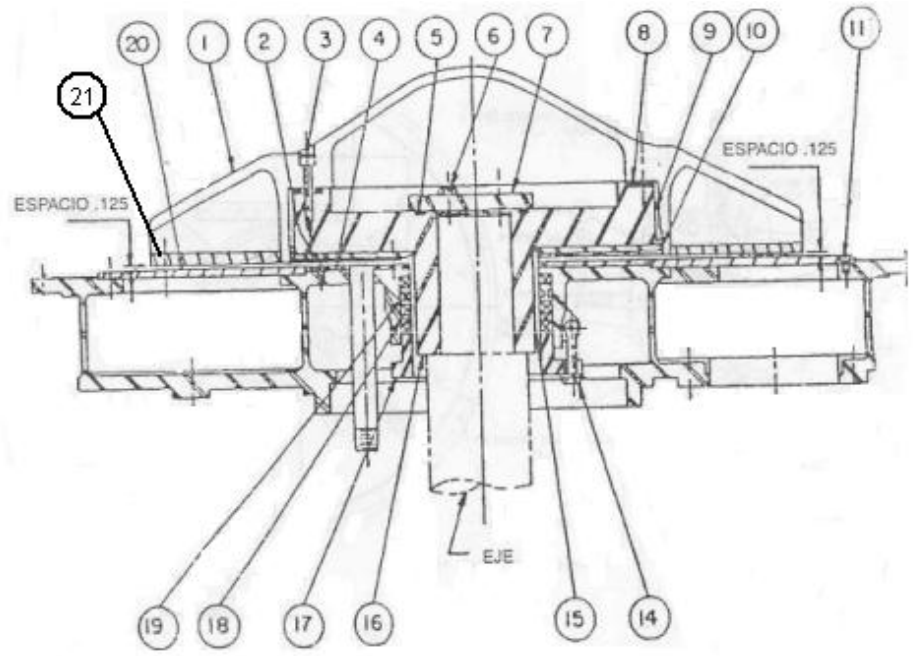
- El paralelismo de las caras del plato perforado o también llamado plato de extracción.

- 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 ½” 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.



1) Rotor
2) Perno allen avellanado
3) Perno allen 3/4"
4) Plato central
5) O- ring
6) Perno hexagonal 7/8"
7) Tapa
8) Lainas para calibraciòn
9) Manzana
10) Recubrimiento
11) Perno allen avellanado 1/2"
12) Plato perforado
13) Camara de extracciòn
14) Tuerca hexgonal y arandela plana
15) Loctite 601
16) Bocin inoxidable
17) Prensa estopa
18) Empaquetadura
19) Anillo de lubricaciòn
20) Nervios inoxidables
21) Placa cortadora

Fig.7 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.

Figura 8. Rotor invertido

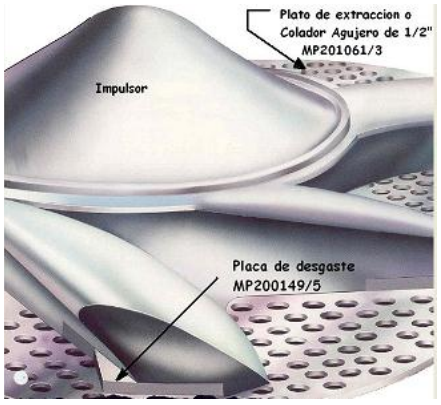


Figura 9. Rotor

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.

El primer mecanismo consiste de una garra hidráulica ò clamp, a través de la que se retiran grades masas de plástico y otros elementos, la limpieza es efectuada cada cuatro horas, es decir seis veces al día dado que la planta opera todo el día. En el caso de existir inconvenientes de alguna índole la limpieza se efectúa mínimo una vez por turno.

La cantidad de fibra que se pierde mediante este mecanismo, depende del tiempo y la cantidad de agua que se emplea durante el lavado del desintegrador, antes de efectuar la limpieza con el clamp.

Figura 10. Retiro de impurezas

Figura 11. Garra hidràulica

El segundo mecanismo comprende el uso de un equipo de limpieza conocido como Pera, que ayuda en la remoción de las impurezas dentro del desintegrador y a la recuperación de la pulpa de papel. En el interior de este equipo se efectúa el lavado, desintegración y separación de la pulpa de papel, la que es posteriormente retornada al desintegrador.

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.

Figura 12 - Sistema de limpieza - Pera

Un punto de consideración dentro del funcionamiento de un desintegrador aparte de las tolerancias antes mencionadas, es el material y tiempo de vida de las placas cortadoras, las que a su vez representan uno de los montos más elevados. Razón por la cual se ha probado con varias alternativas locales con la finalidad de suplir a los proveedores extranjeros.

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

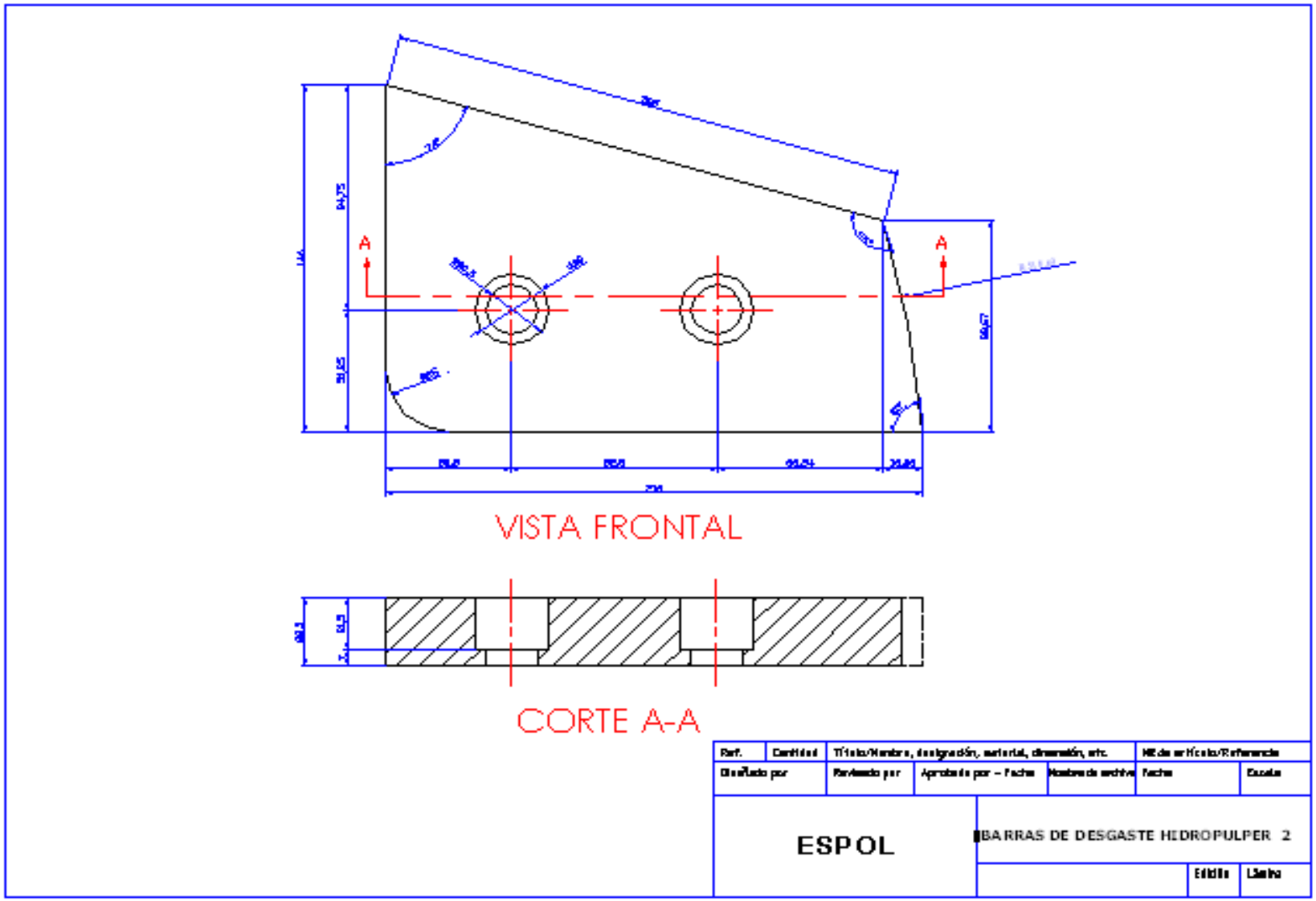
1.3 Barras de desgaste y aleaciones normalizadas usadas.

Las placas de desgate 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 el plano de las placas de desgaste utilizadas en los equipos desintegradores.


A
A
VISTA FRONTAL
CORTE A-A
Ref.
Cantidad
Título/Nombre, designación, material, dimensión, etc.
Nº de artículo/Referencia
Diseñado por
Revisado por
Aprobado por – Fecha
Nombre de archivo
Fecha
Escala
ESPOL
BARRAS DE DESGASTE HIDROPULPER 2
Edición
Lámina

Del análisis realizado a cada una de las muestras enviadas de obtuvieron los siguientes resultados:

- **Muestra 1 – Importación.**

  Acero inoxidable AISI /SAE 410 (UNS S41000), dureza 40 RC.

  El grupo de la serie 400 tiene como característica principal que son susceptibles de endurecimiento por temple y mejoran su resistencia al desgaste por abrasión sin disminuir la resistencia al desgaste corrosivo.

  Los aceros inoxidables martensíticos son esencialmente aleaciones de cromo y carbono cuya principal característica es su habilidad para aumentar su resistencia mecánica y dureza mediante tratamiento térmico que produce martensita.

  El contenido de cromo es generalmente en el rango de 10.5 a 18% y el de carbono es alto, alcanzando valores de hasta 1.2%.

  Entre sus usos recomendados están: tuercas y tornillos, bushings, cubiertos, herramientas de cocina, partes de horno a bajas temperaturas, equipo para refinación del petróleo, partes para bombas, válvulas, partes para turbinas a gas, vapor y las hidráulicas.

  (Ver informe técnico en anexo 1).

- **Muestra 2 – Importación.**

  Acero inoxidable martensitico AISI / SAE 403 (S40300), dureza 40 RC.

  Calidad seleccionada para turbinas y partes sometidas a grandes esfuerzos. Es similar al tipo 410.

  El tipo 403 es primariamente empleado en partes críticas de maquinaria sometida a altos esfuerzos y donde se requiere, además, buena resistencia al calor, corrosión, desgaste abrasivo o erosión.

  (Ver informe técnico en anexo 2).

- **Muestra 3 – Suministro local**

  Acero para trabajo en frío AISI / SAE 01, dureza 56 RC.

  Conocido localmente con el nombre de K460 ó como DF2 según denominación ASSAB, suministrado por la empresa IVAN BOHMAN C.A.

  Este acero diseñado para trabajos en frío, tiene entre sus principales usos recomendados: herramientas de corte, cizallas, punzones, troqueles pequeños, para corte de láminas de hasta 6mm, como matrices, cuchillas, cuchillas para molinos de plástico, herramientas para trabajo en madera, papel, metal, brocas, y moldes para industria del plástico.

  Material de poca variación de medidas después del temple, pero de baja tenacidad.

  (Ver hoja técnica en anexo 3).

- **Muestra 4 – Suministro local.**

  Acero para trabajo en frío AISI / SAE D3, dureza 57 RC.

  Conocido localmente con el nombre de K100 ó como D3 según denominación ASSAB, suministrado por la empresa IVAN BOHMAN C.A.

  Acero ledeburítico de alto porcentaje de carbono y cromo, para trabajo en frío, de alta estabilidad dimensional en el tratamiento térmico y de gran resistencia al desgaste pero de baja tenacidad.

  Sus usos recomendados son la fabricación de herramientas para trabajo en frío como punzones y matrices de corte de lámina de hasta 4mm de espesor, herramientas para trabajos en madera, rodillos de conformado en frío, herramientas para el prensado de materiales cerámicos y farmacéuticos.

  (Ver hoja técnica en anexo 4).

1.4 Costo actual del mantenimiento.

Al referirse al costo de mantenimiento se debe contemplar los siguientes ítems:

- Costos de importación
- Costo hora – hombre para mantenimiento
- Costo por fabricación local esporádica.

Costo de importación

Actualmente la empresa cuenta con dos proveedores a nivel internacional. Los valores que se presentan son por cada juego de cuchillas (seis unidades) desde el año 2006 al presente.

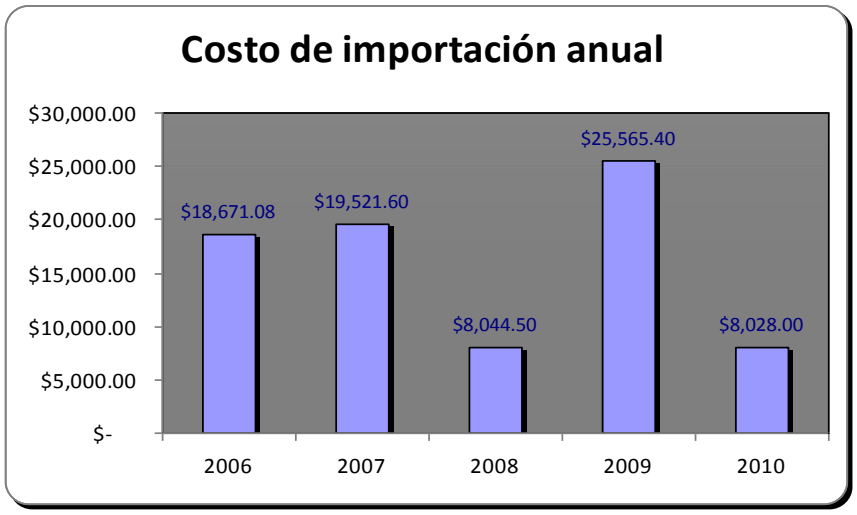


Gráfico 4 - Costo anual

Los costos de importación mostrados en el gráfico anterior, disminuyen en el 2008 debido a la utilización de soldadura para efectos de recuperación del filo de corte de las placas desmontadas.

Costo hora – hombre

Se considera este costo debido a las horas de trabajo empleadas para la recuperación de barras desgastadas mediante la colocación de un aporte duro. Esto es realizado mediante proceso de soldadura eléctrica con el uso de electrodos SAGER 6006 (véase hoja técnica en el anexo 5).

Tomando como referencia un sueldo promedio de un mecánico de $380 y un máximo registrado de 12 horas para la ejecución del proceso de recuperación de las placas, se obtiene un costo hora – hombre de $19 por cada juego.

Al valor antes calculado se le debe sumar el valor de la soldadura empleada en el procedimiento ya mencionado, el mismo que asciende a $3.06 por cada unidad utilizada; siendo el total, $45.90 por cada juego.

Figura. 13 - Recuperación de placas soldadas mediante soldadura

A pesar del bajo costo obtenido mediante este método de recuperación del filo de corte mediante soldadura, se debe considerar, que el continuo uso de las cuchillas recuperadas, tiene como resultado la presencia del deterioro no solo del filo de corte, también en el cuerpo en general, lo que dificulta recuperar las condiciones iniciales y efectuar la calibración durante el montaje.

Costo por fabricación local esporádica.

En varias ocasiones con el objetivo de contar con un proveedor local, disminuir costos y buscar nuevas alternativas de materiales se ha optado por la fabricación de placas en talleres locales a partir del uso de materiales recomendados por catálogos y vendedores de empresas locales, a partir de lo cual se puede indicar como valor referencial $2100 por juego.

1.5 Procedencia y calidad de las placas usadas.

Si bien casi la totalidad de las placas cortadoras son importadas, siendo la lista de proveedores limitada, éstas no han asegurado un buen desempeño al momento de probarlas, por lo que no se justifica el elevado valor de cada juego.

La calidad de las placas importadas ha originado en más de una ocasión problemas por desgaste prematuro, lo que ha obligado a incrementar el consumo de materia limpia (DKL), originando que la línea de material reciclado queda fuera de servicio aproximadamente 1 ½ hora, tiempo que toma efectuar el cambio de las cuchillas.

Por otra parte se han probado placas manufacturadas localmente con materiales importados, pero los resultados obtenidos no han sido del todo satisfactorios, debido a que el tiempo de servicio no se ha incrementado significativamente, a pesar que se ha alcanzado una disminución en el valor de cada juego de cuchillas.

CAPÍTULO 2

SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.

2.1 Plan de trabajo para sustitución de placas de desgaste hechas en el país.

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.

La selección antes mencionada fue efectuada en base a procesos conocidos que se consideraron poseen características de desempeño similares a las condiciones de trabajo a las cuales están sometidas las placas de desgaste en el interior de un desintegrador, durante el proceso de disgregación de papel.

Para poder optar por la alternativa planteada es de suma importancia analizar las toneladas de papel disgregado para cada uno de los periodos de trabajo alcanzados, así como el costo de adquisición de estas. Para tal efecto se mostrarán las respectivas gráficas que indiquen los resultados obtenidos, información con la cual estaremos en capacidad de decidir, previo a efectuar las respectivas comparaciones con cada uno de los proveedores hasta el momento calificados.

2.2 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

La primera de estas condiciones es dada por el grado de abrasión de la pulpa de papel, la que según valores teóricos para consistencias hasta el 4% es catalogada como medianamente abrasiva, no obstante este valor en la práctica se incrementa por la arena presente en las pacas de cartón, pudiéndose llegar en ocasiones al niveles altamente abrasivos dependiendo de la cantidad de arena presente.

La segunda de las condiciones se presenta por el contacto metal – metal que se origina entre los componentes del equipo como consecuencia de holguras en algunos elementos o del desbalanceamiento que se pudiere originar al momento de producirse la rotación. Esta condición es disminuida mediante un correcto mantenimiento y dimensionamiento del equipo y sus componentes.

La última de condición de desgaste esta dada por el medio en el cual están las cuchillas constantemente inmersas, además de las variaciones que se pudieren presentar en el agua empleada, debido a que es reutilizada del proceso.

Los materiales locales inicialmente seleccionados fueron elegidos en base a los usos recomendados por las empresas distribuidoras de acero antes mencionadas y sometidos a tratamientos térmicos para la consecución de las mejores propiedades mecánicas.

Posterior al uso de aceros aleados, se recurrió al hierro blanco aleado con 13% de cromo por representar un costo inferior en comparación con las cuchillas elaboradas con aceros aleados para trabajos en frío.

El motivo de la elección de esta segunda alternativa, es por ser utilizado en el proceso de molienda de cemento, en donde el material se encuentra sometido constantemente a condiciones de abrasión e impacto, por lo que las características prioritarias son la resistencia al desgaste y la tenacidad al igual que en el proceso de disgregación del cartón reciclado.

Los hierros blancos aleados ofrecen una considerable versatilidad en sus propiedades, que lo hacen útil en aplicaciones donde es necesaria la resistencia a la abrasión. La composición del hierro blanco aleado se selecciona para obtener una distribución determinada en los carburos y una matriz que brinden una vida de servicio elevada y una efectividad de costos. Son reconocidos, además como los de mayor combinación de resistencia a la abrasión entre los hierros blancos aleados.

En los hierros aleados con elevado contenido de cromo, coexisten la tenacidad de la matriz y la resistencia al desgaste. Variando la composición química y mediante tratamiento térmico, estas propiedades pueden ser ajustadas para alcanzar las necesidades de la mayoría de las aplicaciones donde se necesite resistencia a la abrasión.

2.3 Calidad del material de las placas.

Las placas cortadoras de adquisición local, constituidas con 13% de cromo fueron manufacturadas mediante proceso de fundición, en los talleres de INTRAMET ubicado en la ESPOL.

El grupo de las fundiciones blancas aleadas se distinguen por su dureza y resistencia al desgaste por abrasión, sin embargo el uso de fundiciones totalmente blancas está caracterizado por condiciones de fragilidad y falta de maquinabilidad, lo que limita su utilización en el ámbito industrial, quedando reducido su empleo a aquellos casos en que no se quiera ductilidad

Como se indicó anteriormente no es recomendado el empleo de las fundiciones totalmente blancas, por lo que sus usos son siempre en combinación de elementos como el cromo, níquel y molibdeno. Una vez combinada con estos elementos, son especialmente diseñadas para condiciones de servicio específicas con gran satisfacción y economía.

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.

Las aplicaciones recomendadas son: discos de refinadores de pulpa de papel, conducción de materiales abrasivos, componentes en procesos de trituración y molienda, moldes de ladrillos por citar algunos.

Las fundiciones de hierro blanco aleadas son especialmente calificadas para aplicaciones de resistencia al desgaste, la presencia de carburos en la microestructura provee la dureza necesaria para triturar y moler otros materiales sin sufrir degradación.

La estructura de la matriz puede ser ajustada por las aleaciones contenidas o el tratamiento térmico para desarrollar un balance efectivo entre resistencia al desgaste por abrasión y la capacidad para asimilar cargas de impacto repetitivas. Las fundiciones blancas aleadas están realmente perfiladas para trituración y molienda, o el manejo de materiales abrasivos.

La resistencia a la abrasión no es una propiedad especifica de un metal o aleación, pero involucra la condición bajo la cual esta es usada, la habilidad de una parte para resistir el desgaste por abrasión depende de la microestructura interna, el proceso en el cual se desempeña y tipo y tamaño de material que es movido, triturado o molido.

En la mayor parte de las operaciones el criterio de valor es la vida útil de la parte, en aplicaciones de trituración y molienda el tiempo de servicio puede estar limitado por la capacidad para soportar cargas repetitivas de impacto sin fracturarse.

Las fundiciones blancas aleadas son una clase de material que ofrece una considerable versatilidad en sus propiedades para una variedad de aplicaciones abrasión – resistencia, para efectos de desgaste, contienen cromo para prevenir la formación de grafito y asegurar la estabilidad de los carburos en la microestructura, muchos de los hierros aleados contienen níquel, molibdeno, cobre o combinaciones de estos metales para prevenir o minimizar la formación de perlita en su estructura interna.

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.

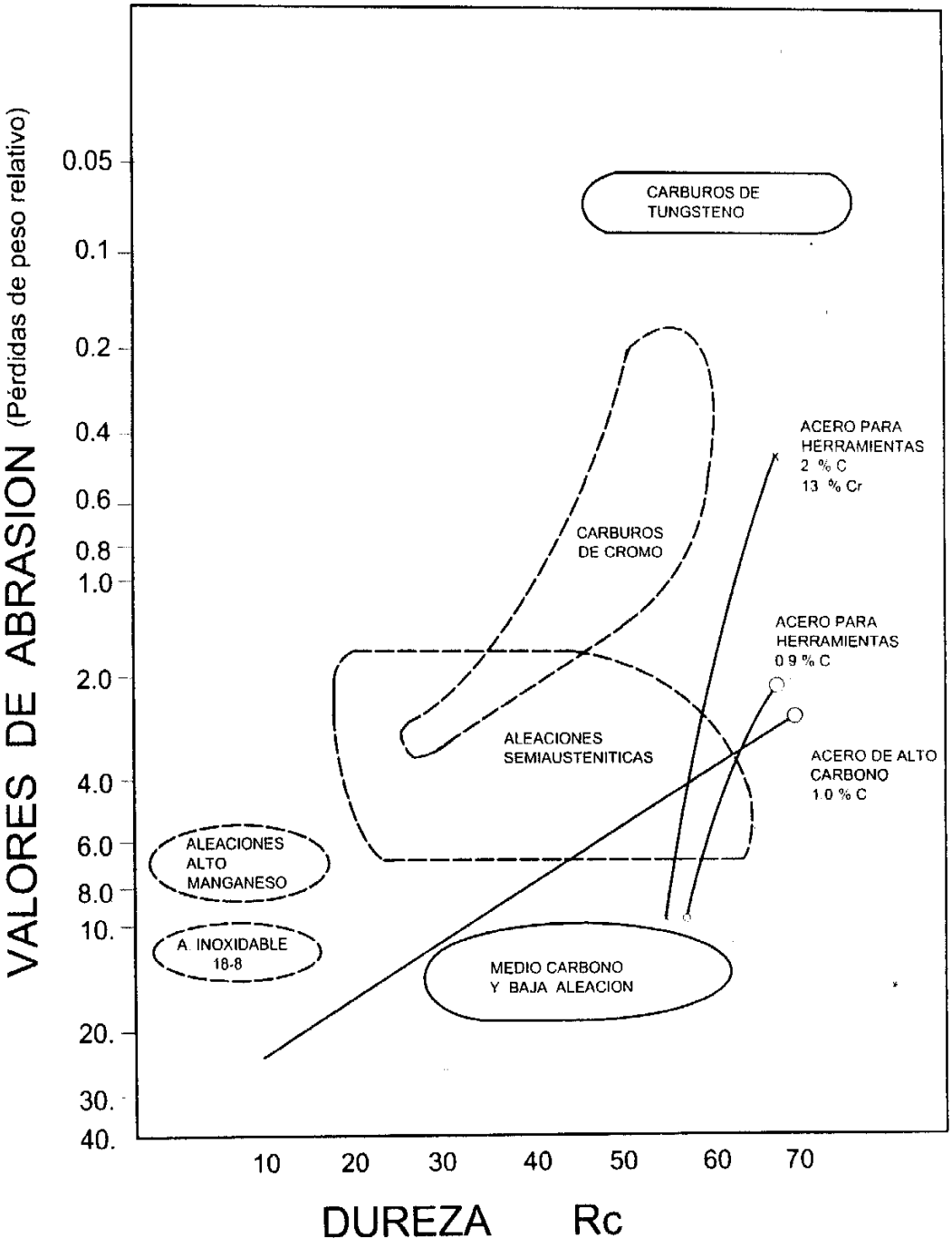


Figura 14. Valores de abrasión y dureza

Para el caso de los aceros para herramientas 2% C - 13% Cr, los aceros para herramientas con 0.9% C, y los aceros de alto carbono 1% C, para altos valores de dureza, presentan poca tenacidad, razón por la cual su uso frecuente y recomendado se da hasta durezas de 45 RC.

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:

Composición de fundiciones blancas resistentes a la abrasión según especificación ASTM A532

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

Tabla 5. Elementos aleantes

			Dureza Brinell	Típica sección máxima	
Clase	Tipo	Designación	Dureza min.	pulgadas	milímetros
I	A	Ni-Cr-HC	-	8	200
I	B	Ni-Cr-LC	-	8	200
I	C	Ni-Cr	-	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

Tabla 6. Durezas según especificación ASTM A532

De acuerdo a la especificación ASTM A532 y como se muestra en la tabla 3 presentada en la parte superior las fundiciones blancas se clasifican según el porcentaje de cromo de la siguiente forma:

- Bajo cromo, con 1 a 4% Cr - 3% a 5% de níquel y una modificación la cual contiene de 7% a 11% Cr.

- Alto cromo, con el 14% a 28% Cr y el 1% a 3% molibdeno, combinándose también con níquel y cobre, dentro los considerados con alto porcentaje de cromo, existe una subdivisión que comprende los fuertes con porcentajes del 25% al 28% Cr.

Las placas cortadoras propuestas debido al porcentaje de cromo y al espesor de fabricación (30mm), están comprendidas en la clase II tipo A, tal como se indica en la tabla 2 y 3. La microestructura de estas cuchillas por ser de alto cromo es parcial o completamente perliticas con la finalidad de poder soportar cargas de impacto, sin embargo esto significaría que se desgasten más rápido que los de matriz martensitica, por tal motivo, con el propósito de proporcionar una mayor resistencia al desgaste, se emplea la combinación de los carburos de hierro y cromo, la dureza de estos carburos ha sido reportada en un rango desde los 840 hasta los 1800 vickers , pero esto varía dependiendo de la concentración de cada uno.

Grandes secciones en las cuales la estructura es predominantemente perlitica, tienen menos resistencia al desgaste que ligeras secciones en las cuales la matriz es predominantemente austenita, la resistencia a la abrasión entre

fundiciones blancas con estos dos tipos de estructura puede diferir por un factor de diez a uno a favor de la matriz austenitica, cuando bajo condiciones de servicio la austenita en la superficie de la fundición es endurecida a martensita.

Pequeñas y medianas fundiciones blancas de alto contenido de cromo que contengan una substancial cantidad de perlita en su estructura matricial pueden ser sometidas a tratamiento térmico para mejorar su resistencia a la abrasión. Para tales fundiciones el cromo en solución en la austenita proporciona suficiente endurecimiento para poder producir martensita mediante enfriamiento con aceite o agua. La temperatura de austenizaciòn para las fundiciones de alto contenido de cromo está usualmente en el rango de 1740 a 1890 ºF (950 a 1030 ºC).

Si bien la estructura cristalina de los carburos de hierro y de los carburos de cromo es ortorrómbica en ambos casos, la inclusión de carburos de cromo en aleaciones de hierro blanco aleado, le brinda a éste la posibilidad de ganar mucha mas dureza para poder soportar condiciones de desgaste.

En la tabla mostrada a continuación se indica el porcentaje de algunos elementos presentes en cada una de las placas cortadoras inicialmente usadas, las mismas que fueron presentadas en el capítulo anterior, y las cuchillas de hierro blanco propuestas para mejorar el proceso de desintegración. Las cuchillas en mención están identificadas por las especificaciones SAE y ASTM, según sea el caso.

Elemento	Muestra 1 Importadas SAE 410	Muestra 2 Importadas SAE 403	Muestra 3 Locales SAE 01	Muestra 4 Locales SAE D3	Hierro blanco aleado ASTM A532
C %	0.15	0.15	0.95	2	2.4 - 2.8
Mn %	1	1	1.1	0.3	0.5 - 1.5
Si %	1	0.5	0.25	0.2	1 max.
P %	0.04	0.04	-	-	-
Cr %	13.5	11.5	0.55	11.5	13
S %	0.03	0.03	-	-	-

Tabla 7. Composición química

En el caso de las fundiciones blancas aleadas, se observa un mayor porcentaje de carbono y también un alto contenido de cromo. El carbono se encuentra formando carburos de hierro y carburos de cromo, lo que contribuye en el incremento de la resistencia de la dureza y desgaste por abrasión. El cromo es un formador de carburos como son la cementita aleada (Fe, Cr)3C; y otros, es además un fuerte promotor de perlita, pues aumenta la solubilidad del carbono en la austenita e inhibe así la formación de la ferrita, pero también es un promotor de temple y carburos durante la solidificación.

2.4 Pruebas de placas en Desintegrador.

La instalación de las cuchillas de hierro blanco con 13% de cromo se efectuó durante una parada mensual programada por mantenimiento. Fueron montadas en el hidropulper que maneja como materia prima pacas de cartón reciclado, al momento de efectuar el trabajo de instalación se observa desgaste en el plato de extracción o plato perforado, lo que indicaba una condición de falta de paralelismo ente las caras, no fue posible efectuar el cambio por no existir repuesto disponible, de igual forma los nervios o platinas el plato evidenciaban deterioro, motivo por el cual fueron reemplazadas, junto con el resto de elementos como, la manzana, plato central, bocín de acero inoxidable, empaquetaduras y todos los pernos de equipo.

La luz de trabajo entre las placas cortadoras y los nervios del plato de extracción quedó calibrada en 1.5mm. Rango de trabajo permisible según manual del equipo 0,06” (1.5mm) a 0,12” (3mm).

La primera revisión de las cuchillas se efectúa luego de un mes de trabajo continuo, no observándose mayor desgaste en las mismas, razón por la cual no se ejecuta ningún tipo de trabajo a pesar de la presencia de desgaste en otros componentes, esto con la finalidad de someter a las placas cortadoras a la peor condición de servicio en lo referente a la perdida de tolerancias para la realización del proceso de disgregación.

Figura. 15 – Primera inspección

La segunda inspección se lleva a cabo luego de cumplirse 76 días de servicio continuo, en donde se decide efectuar el cambio de las placas cortadoras, debido al desgaste encontrado principalmente en el plato de extracción, con la finalidad de que todos los componentes no tengan señales de desgaste y asegurar un mejor funcionamiento del equipo.

Figura. 16 Segunda Inspección

Figura17. Placas desmontadas

Una vez efectuado el desmontaje de las placas cortadoras se procede a pesar cada una de las cuchillas, obteniéndose un peso promedio de 3.9Kg. Con este valor y conociendo el peso inicial (4.1Kg), para los 76 días de trabajo alcanzados, es posible realizar una curva que nos dé una noción del desgaste

y compararlo con una grafica de similares características para el caso de las cuchillas importadas, efectuada con los datos registrados en oportunidades anteriores.

A partir de los valores antes indicados se obtiene la siguiente curva:

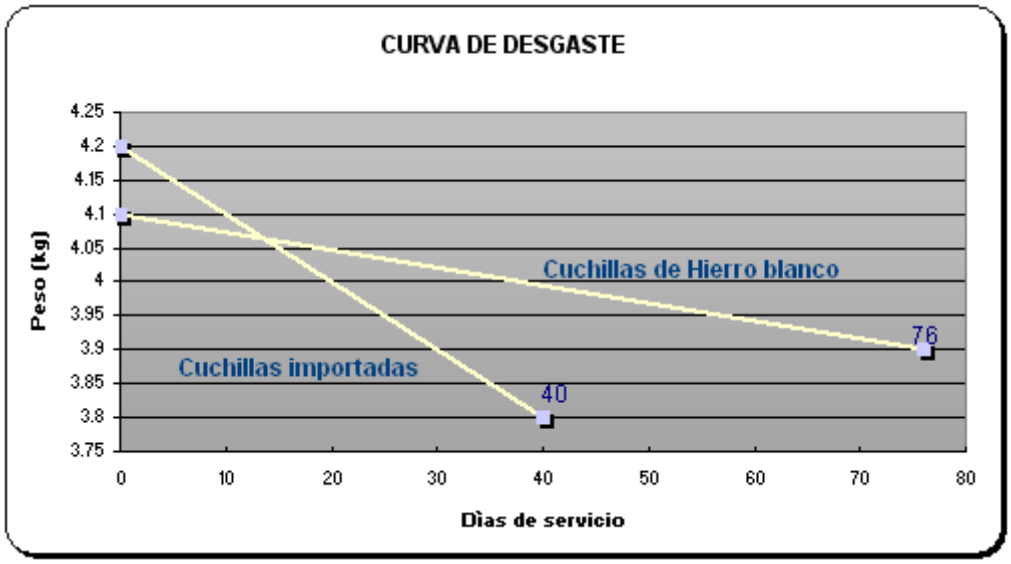


Grafico 5. Comparación del desgaste

En la gráfica indicada en la parte superior se observa la mayor pendiente negativa en el caso de las cuchillas importadas, en esta curva se aprecia que para los 40 días de servicio, se produjo una perdida en peso de 0.4Kg (400gr), al pasar de 4.2kg iniciales a 3.8Kg finalmente al momento de ser desmontadas. Para el caso de las cuchillas de hierro blanco aleado (ASTM A532) la perdida de peso después de transcurrir 76 días de servicio interrumpido fue de 0.2Kg (200gr), es decir que se perdió la mitad de peso para un periodo de días de prácticamente el doble.

CAPITULO 3

EVALUACION TECNICO – ECONÓMICA

3.1 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. De esta forma se asegura haber sometida a las cuchillas a las condiciones mas extremas por el solo consumo de material reciclado.

El tiempo de servicio de las cuchillas fue de 76 días, sin embargo la apreciación del desgate presentado al momento de su desmontaje no fue tan marcado en comparación con algunas de procedencia importada. Como similitudes con las otras placas cabe destacar que no se encontraron evidencias de corrosión representativas, fracturas u holguras en los agujeros donde trabajan los pernos para fijarlas al rotor.

Con este tiempo de trabajo alcanzado, se superó el ciclo de vida en 31 días en comparación con las placas importadas y en 24 días en relación a las cuchillas construidas localmente.

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.

3.2 Evaluación de costos.

Luego de efectuadas las pruebas correspondientes, se evidenció principalmente la reducción del costo de cada juego de cuchillas comprado, lo que significó un ahorro de $1056 en comparación con las proporcionadas por el proveedor 1(importadas), $4380 si se compara con proveedor 2 (importadas) y de $420 en relación con las suministradas por el proveedor 3 (locales), tal como se visualiza en el cuadro mostrado en la parte inferior.

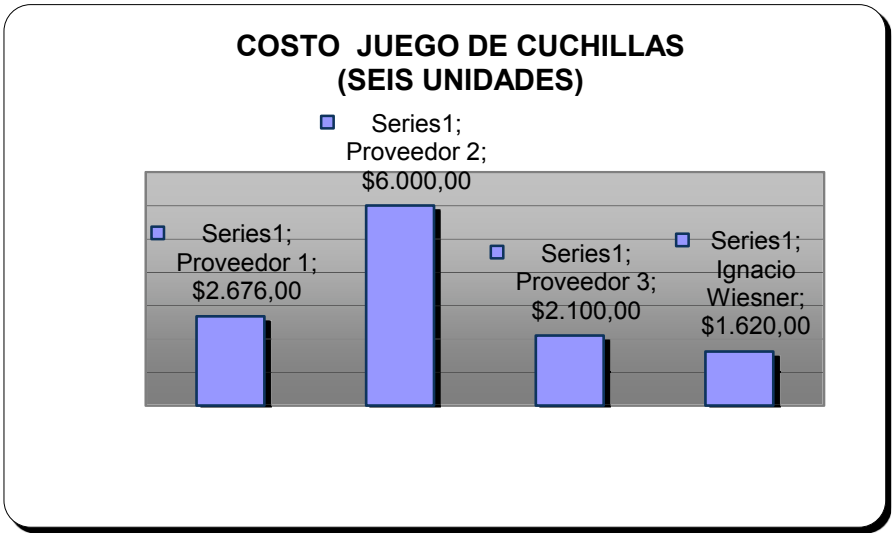


Grafico 6 – Comparación de costos por cada juego.

Si tomamos como referencia el tiempo de servicio alcanzado se evidencia la mayor duración y por ende mejor comportamiento de las cuchillas construidas con hierro blanco aleado para trabajar bajo las condiciones existentes durante el proceso de disgregación del papel, tal como se indica en la grafica mostrada en la parte inferior.

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

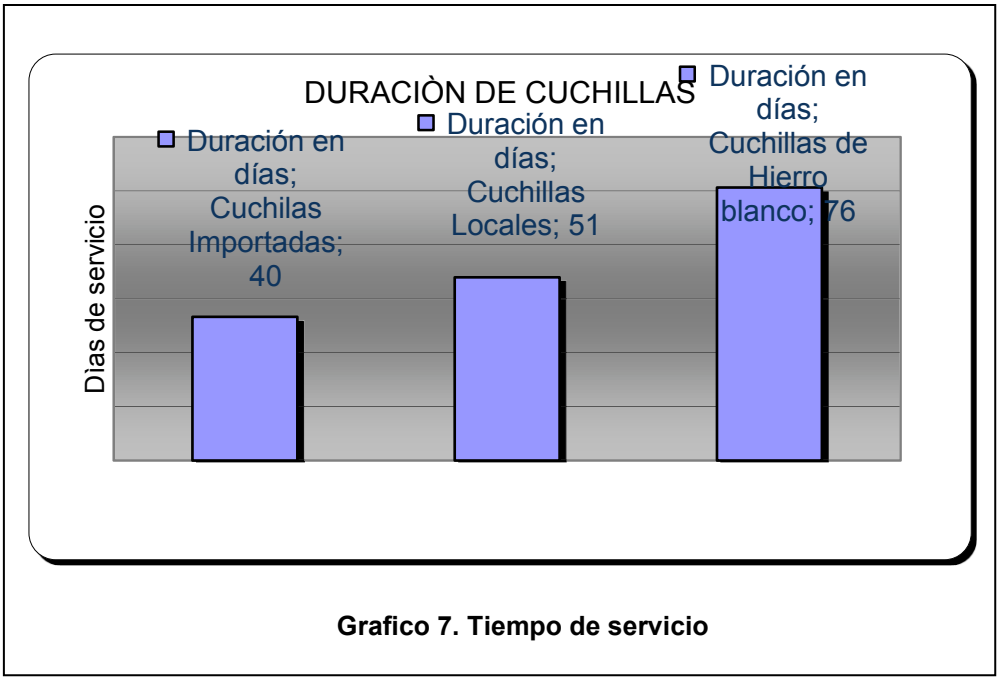


Grafico 7. Tiempo de servicio

En la grafica mostrada, se observa el periodo de trabajo en días, para cada una de las cuchillas empleadas en un desintegrador, del gráfico se visualiza que las placas construidas en hierro blanco aleado tuvieron una mayor duración, ya que alcanzaron 76 días de servicio, lo que representa un incremento de 31 y 24 días respecto a las importadas y a las locales respectivamente

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:

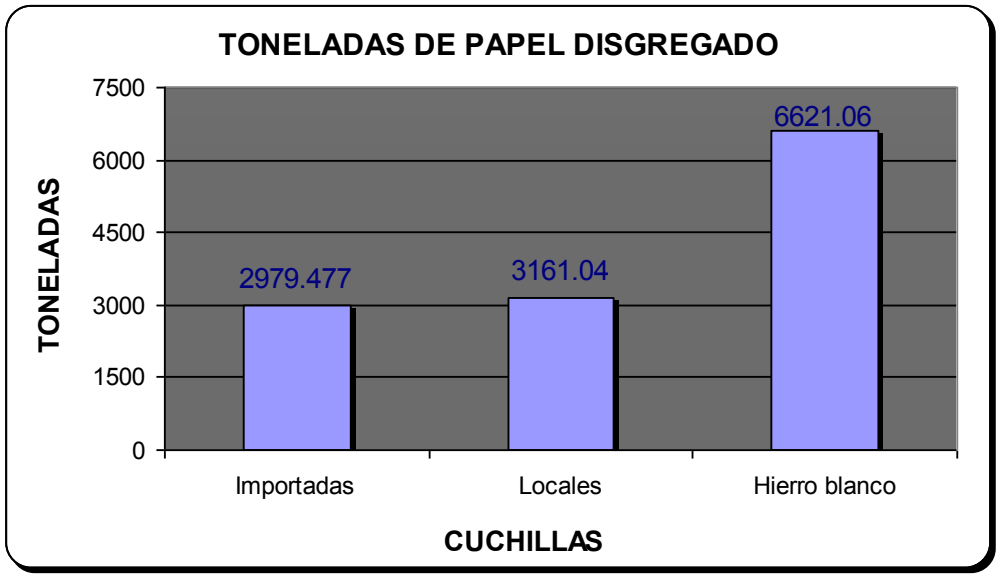


Grafico 8. Toneladas de papel procesadas

En el grafico anterior se aprecia que el incremento alcanzado en el tiempo de servicio de las cuchillas incidió directamente en la cantidad de cartón reciclado disgregado en un desintegrador, lo cual origina la disminución del tiempo empleado en el mantenimiento en este equipo para efectos de realizar el cambio de las placas cortadoras. Lo antes indicado se refleja en el incremento de la producción.

A partir de los resultados presentados en el grafico 7, es posible realizar una proyección del número de placas cortadoras a utilizar durante un año, basándonos en el tiempo de servicio alcanzado se obtiene que, dividiendo los 365 días del año para los 76 días que trabajaron las cuchillas, arroja como resultado 5 juegos de placas cortadoras. Ahora comparando el monto que representarían las cuchillas, junto con su instalación con los valores mostrados en las tablas 3 y 4 del capítulo uno, se obtiene:

Número de cambios a efectuar	5
Costo mano de obra, contratista	$ 150
Costo anual	**$ 750**

Valor es solo por cambio y calibraciòn 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**

Tabla 8 – Ahorro alcanzado

En la tabla 8 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.

CAPITULO 4

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.