

# CAPÍTULO 2

## 2. MEJORAS AL SISTEMA DE SELLADO EN BOMBAS

En Papelera Nacional S.A. desde sus inicios como se indicó en la introducción, en el año de 1968 comenzó sus operaciones con una capacidad instalada de 10.000 Tm/año. Desde entonces su proceso en la producción de papel se determinó con el uso de componente importantes como las bombas de pulpa de papel, tales que por su facilidad y falta de algún otro sistema de sellado se usaron sistema de sellado de fluido a través de prensaestopa con empaquetaduras, las mismas que por su estructura presentan muchas ventajas pero con deficiencia en el sellado causando problemas de fugas consideradas actualmente como participantes directas en el impacto ambiental.

Este sistema de sellado predominó por su valorable rapidez en la intervención de la máquina en las emergencias suscitadas en la producción de papel.

Es notable su valor por el tiempo de permanencia y uso en la planta, pero cabe recordar que no cumple ciertas exigencias actualmente generadas por las entidades ambientales gubernamentales.

### **2.1. Sistema de sellado de fluido tradicionales.**

Los sistemas de sellados en bombas con el pasar de los años han sufrido cambios, con el fin de encontrar mejoras en su operación de acuerdo a los avances tecnológicos.

**Sistema de sellado con empaquetadura.**- Es el sistema más antiguo y más utilizado para controlar las fugas en ejes y elementos rotatorios de equipos que deben retener líquidos o gases. Está formada por varios anillos de un material flexible insertados entre sí, que se ubican dentro de una cámara circular que se llama caja de empaquetaduras, la cual se mantiene mediante un anillo ajustado con pernos los cuales ejercen presión contra los anillos de la empaquetaduras apretándolos fuertemente contra el eje, como se indica en la [figura N° 2.1](#).

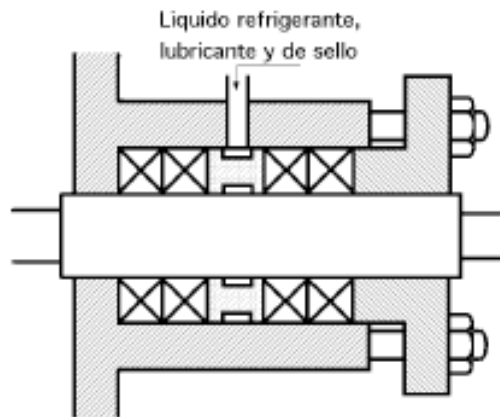
Normalmente vienen construido con material auto-lubricado para mantener en condiciones de buena lubricidad el sistema de sellado

cuando no existe líquido para la lubricación, que cumple las siguientes funciones.

- Lubrica cuando el líquido bombeado no puede hacerlo.
- Como medio para limpiar partículas abrasivas.
- Refrigerador de la empaquetadura cuando se manejan líquidos calientes.

Además, las empaquetaduras son instaladas en la caja de prensaestopas de la bomba con un anillo de enfriamiento que permite fluir con más facilidad el líquido refrigerante permitiendo controlar la temperatura de servicio de las mismas, logrando de este modo aumentar su vida útil, este flujo debe ser controlado con la cantidad de agua en gotas/min., en algunos casos es aceptable un promedio de 40 a 60 gotas/ min., para garantizar la lubricación mencionada, en caso de no darse esta lubricación, el efecto secundario es el contacto directo con el eje o camisa, causando su deterioro acelerado.

Los anillos de las empaquetaduras se construyen con diferentes tipos de materiales según sea el servicio que deban prestar.



**Figura N° 2.1;** Sello por empaquetadura.

**Sellos Mecánicos.**- Consta de un anillo que gira con el eje mantenido por la presión de un muelle contra un anillo o asiento estacionario que normalmente suele ser de carbón. La parte rotatoria del sello y la estacionaria, tienen unas superficies de contacto perfectamente pulidas para que exista una holgura de cien milésimas de milímetros. La parte giratoria suele ser de acero inoxidable. Las dos partes se deben mantener siempre muy juntas para evitar la acumulación de óxidos, polvos, y otros.

Estos sellos están sustituyendo sustancialmente a las empaquetaduras debido a su principal ventaja de reducción de fugas o pérdidas, teniendo inicialmente limitaciones por su alto costo y en su uso en bombas ya que se necesitaba tener condiciones de temperaturas y presiones inferiores de 250 °C y 35 Kg/cm<sup>2</sup>,

respectivamente. Pero en la actualidad se han mejorado y siguen mejorando continuamente sus diseños, pero aun el uso es más frecuente en bombas centrífugas y no en bombas alternativas.

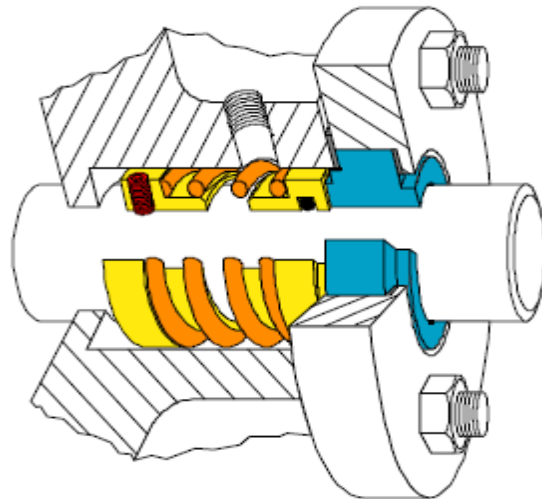
La principal desventaja de estos sellos es su mayor costo inicial y el hecho de que una vez que empiezan a fugar líquido no hay forma de cortar la fuga, sino programar su cambio. Para ello se necesita parar la unidad y repararlo y/o cambiarlo en donde el tiempo de su intervención es mayor que si se tendría un cierre con empaquetaduras. Por tal razón, este sello solo se lo recomienda cuando se logra justificar una reducción considerable de pérdidas de líquido u otro material de bombeo.

Pero estos sellos han sufrido mejoras con los avances tecnológicos y se los ha clasificados en distintas generaciones, como se lo explica a continuación.

**Sellos de primera generación.-** Tienen las siguientes características:

- No Balanceados
- Alto desgaste en Caras
- Altos Costos de Energía
- Utilizados por OEM (*original equipment manufacturer*)

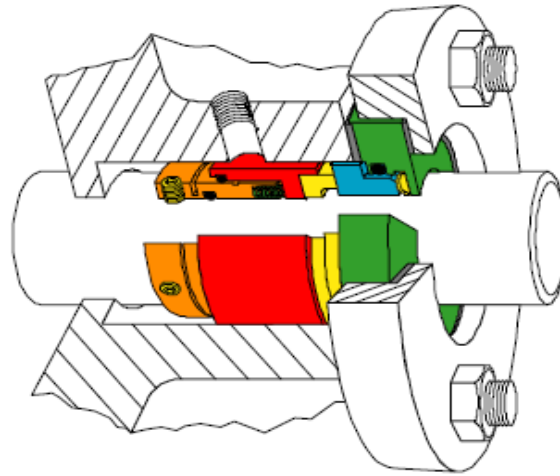
- Pocas Alternativas en Materiales
- Rangos de Temperatura reducidos.
- Rango de Presión reducido
- Bajas Velocidades Periféricas
- Tendencia a Taponamiento de Resortes
- Tendencia a Desgaste de Eje
- Generación de altas Temperaturas
- Caras de Perfil ancho
- Niveles altos de Emisiones Fugitivas
- Sello de Componentes
- Instrucciones Inadecuadas
- Potencial a Fallas en Instalación



**Figura N° 2.2:** Sello mecánico de 1ra Generación.

**Sellos de segunda generación.-** Tienen las siguientes características:

- Caras de Perfil más bajo montadas en Canastilla
- Balanceados
- No Taponamiento de Resortes
- No Desgaste de Eje
- Menores Costos de Energía
- Menor Desgaste de Caras
- Menor Generación de Temperatura
- Mayor Rango de Presión
- Mayor Selección de Materiales
- Mayores Rangos de Temperatura
- Mayor Velocidad Periférica
- Menores Emisiones Fugitivas
- Disponibilidad en Cartucho
- Acorde con Necesidades de Mantenimiento

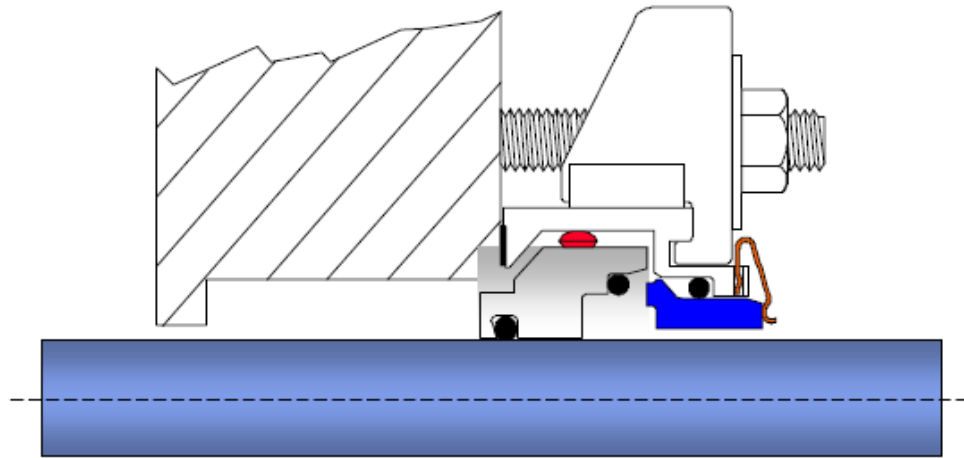


**Figura N° 2.3:** Sello mecánico de 2da Generación.

**Sellos de tercera generación.-** Tienen las siguientes características:

- Caras Monolíticas de Bajo Perfil
- Balanceados (Simples)
- Doblemente Balanceados (Dobles)
- No Taponamiento de Resortes
- No Desgaste de Eje
- Resortes por fuera del Fluido
- Menor Consumo de Energía
- Mayor TMER
- Acorde con Expectativas de Mantenimiento
- Acorde con Expectativas de OEM (*original equipment manufacturer*)

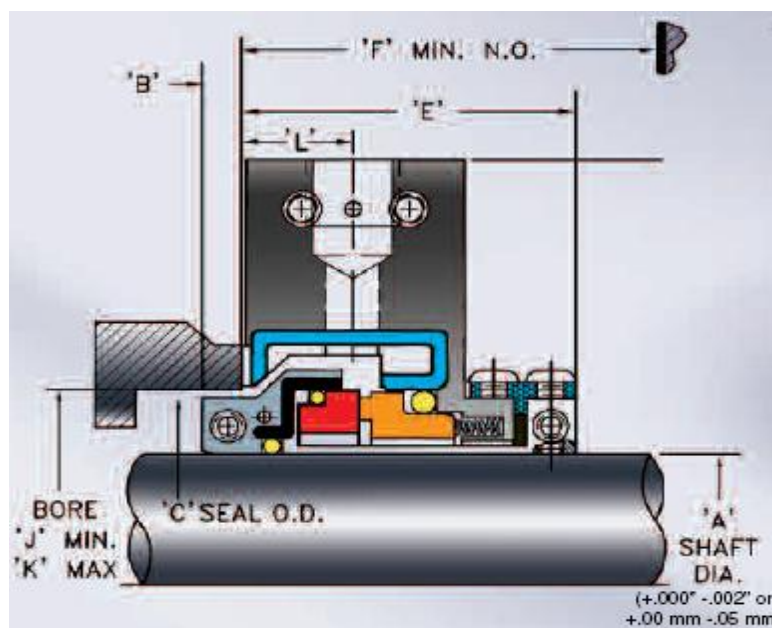




**Figura N° 2.4:** Sello mecánico de 3ra Generación.

**Sellos de cuarta generación.-** Tienen las siguientes características:

- Tipo Cassette
- Caras Monolíticas de Bajo Perfil
- Balanceados (Simples)
- Doblemente Balanceados (Dobles)
- No Taponamiento de Resortes
- No Desgaste de Eje
- Resortes por fuera del Fluido
- Caras Micro-Pulidas
- Flush Multipuerto



**Figura N° 2.5:** Sello mecánico de 4ta Generación.

## 2.2. Criterios en producción más limpia y selección de sello para bombas.

En las plantas industriales competitivas de hoy a más de los parámetros que intervienen en la mejora de la productividad, las mejoras en el plano ambiental es muy importante. El tener equipos con una alta eficiente operatividad y que no causen un impacto en el medio ambiente la caracteriza en una planta que se preocupa y trabaja en la conservación en el medio ambiente. Haciendo esto le permite tener buenas relaciones con el entorno comunitario por el fiel cumplimiento de las normas estatales establecidas para la conservación del medio ambiente.

**Producción más limpia.**- Se la puede definir como “**La aplicación continua de una *Estrategia Integral Ambiental Preventiva* a procesos, productos y servicios con el propósito de incrementar la ecoeficiencia y reducir los riesgos a los seres humanos y al medio ambiente**”.

- ***En Procesos Productivos:*** Conservando materias primas y energía, eliminando materias tóxicas y reduciendo la cantidad de toxicidad de todas las emisiones y residuos desde la fuente.
  
- ***En Productos:*** Reduciendo los impactos negativos a lo largo de todo el ciclo de vida del producto desde el diseño (elaboración) hasta su disposición final.
  
- ***En Servicios:*** Incorporando cuidados ambientales en el diseño y entrega de servicios.

La producción más limpia requiere cambio de aptitudes, el ejercicio responsable de la administración ambiental y la evaluación de opciones tecnológicas (ver información en apéndice J).

Los criterios que se han establecido principalmente en PAPELERA NACIONAL S.A. para obtener una producción más limpia son los que tienen mucha influencia para la contaminación del medio ambiente, los cuales se puede mencionar.

- a. Reducción de fugas de pulpa de papel.
- b. Reducción de fugas de químicos contaminantes.
- c. Reducción del derrame de lubricantes
- d. Reducción de efluentes a la planta clarificadora.
- e. Costo de materias primas.
- f. Concientización de la parte operativa.

Aspectos que se han atacado y en el que se hace énfasis en este proyecto es en la eliminación de pérdidas de pulpa de papel, a través del mejoramiento de los equipos de bombeo, como un medio para no afectar a la productividad de nuestra planta.

**Selección de sellos para bombas.**- La selección de sello para las bombas que intervienen en la elaboración de pulpa de papel, se debe al análisis respectivo desde el punto de vista global y del punto de vista de riesgo. Para ello también solo se han considerado tres tipos

de sistema de sellados, que son los que más se utilizan en las papeleras de mundo.

**Análisis Global.-** Para analizar desde este punto de vista, es necesario conocer o definir los términos o criterios que se han considerado en la evaluación o selección del sistema de sellado como son:

- Mantenibilidad
- Confiabilidad
- Eficiencia
- Control ambiental
- Costo de mantenimiento
- Costo de inversión

**Mantenibilidad.-** Tiene que ver con el tiempo de duración en las paradas por Mantenimiento, o en cuanto tiempo se desarrolla (fácil y rápido) las acciones de mantenimiento, en relación con los datos. Los datos incluyen el mantenimiento desempeñado por el personal que tiene niveles de especialización, que usa procedimientos y recursos preestablecidos, para cada nivel de mantenimiento. Las características de mantenibilidad son usualmente determinadas por

el diseño del equipo, el cual determina los procedimientos de mantenimiento y la duración de los tiempos de reparación.

**Confiabilidad.-** Se relaciona con la reducción en la frecuencia de las fallas en un intervalo de tiempo, y es una medida de la probabilidad para una operación libre de fallas, durante un intervalo de tiempo dado; así, es una medida del éxito para una operación libre de fallas.

**Eficiencia.-** Indica, cuanto un proceso o producto satisface las demandas del usuario final, relación existente entre el trabajo desarrollado, el tiempo invertido, la inversión realizada en hacer algo y el resultado logrado. En fin, la eficiencia es un índice relativo que muestra que tan bien se esta haciendo una actividad o tarea.

**Control ambiental.-** Son todas las acciones (inspecciones y aplicaciones de medidas necesarias) que se desarrollan para disminuir o evitar la emisión de contaminantes provenientes de procesos creados por el hombre al medio ambiente, ya sea al agua, aire o suelo y de los elementos (recursos físicos, tecnológicos, etc.) que permiten lograr los objetivos ambientales.

**Costo de Mantenimiento.-** Son todos los costos que se consideran para las operaciones del mantenimiento de los equipos, tanto así como materiales, repuestos, administrativos, mano de obra, frecuencia de intervenciones (relacionado con el TMER), y otros.

**Costo de Inversión.-** El costo de un bien, lo constituye el conjunto de esfuerzos y recursos que han sido invertidos con el fin de producirlo. La inversión está representada en tiempo, en esfuerzo o en sacrificio, a la vez que en recursos o en capital.

De acuerdo a estos criterios y con el análisis cualitativo mostrado en la [tabla N° 2.2](#), y con los factores para la ponderación general y de costo, y la calificación de cada tipo de sistema de sellado con respecto a los criterios más representativos para el análisis de selección, se puede apreciar que el sistema de sellado mecánico partido tiene el valor más alto con **46 unidades**, que lo hace apto y recomendado para nuestra aplicación en bombas de pulpa de papel de Papelera Nacional, aunque los costos iniciales sean muy elevados, pero que se justifica en los primeros meses de operación. Además, se puede ver también, en lo que respecta al control ambiental, este método de sellado es más beneficioso que el método de

empaquetadura, pero se puede decir que tiene igual nivel de aceptación que el sello tipo cartucho, pero que su valor de mantenibilidad es muy pobre en caso de intervenciones rápidas del equipo en paros imprevistos, y a la vez permite obtener un alto nivel de confiabilidad del equipo para la producción.

**Análisis de Riesgo.-** Este método ha sido adoptado para corroborar que tan crítico es mantener los tipos de sellado en bombas de pulpa en nuestra planta. Ésta técnica permite jerarquizar sistemas o equipos en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos (económicos, humanos y técnicos), las misma que está basada en la teoría de Riesgo, donde aparentemente permite tener resultados semicuantitativos, a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Riesgo} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia} \quad \text{ec. 2.1}$$

**Dónde:**

**Frecuencia** = # de fallos en un tiempo determinado

**Consecuencia** = (Impacto Operacional x Flexibilidad)+Costo de Mantto+Impacto SAH

ec. 2.2

En la [tabla N° 2.1](#), se presenta estos criterios con sus respectivos factores ponderados.



## EVALUACIÓN CAULITATIVA DEL RIESGO

### Críticidad Total = Frecuencia de Falla x Consecuencia

$$\text{Consecuencia} = ((\text{Imp Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo Mtto} + \text{Imp SAH})$$

<b>Frecuencia de fallas:</b> Pobre mayor a 5 Fallas / Año <span style="float: right;">4</span> Promedio >2 - 5 Fallas / Año <span style="float: right;">3</span> Buena 1 - 2 Fallas / Año <span style="float: right;">2</span> Excelente menos de 1 Falla / Año <span style="float: right;">1</span>	<b>Costos de Mtto:</b> Mayor o igual a 1,000.0 \$ <span style="float: right;">2</span> Inferior a 1,000.0 \$ <span style="float: right;">1</span>
<b>Impacto Operacional:</b> Pérdida de Producción ( Mayor a 2..5 Horas) <span style="float: right;">10</span> Perdida de Produccion ( 2 a 2.5 Horas) <span style="float: right;">6</span> Pérdida de Producción ( 1.5 a 2 Horas) <span style="float: right;">4</span> Pérdida de Producción ( 1 a 1.5 Horas) <span style="float: right;">2</span> Pérdida de Producción (menor a 1 Hora) <span style="float: right;">1</span>	<b>Impacto en Seguridad Ambiente Higiene (SAH):</b> Afecta la seguridad humana tanto externa como interna <span style="float: right;">8</span> Proboca lesión incapacitante y/o afectación sensible al medio ambiente <span style="float: right;">6</span> Afecta las instalaciones causando daños severos <span style="float: right;">4</span> Proboca daños menores (accidentes e incidentes) personal propio <span style="float: right;">2</span> Proboca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales <span style="float: right;">1</span> No proboca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al medio ambiente <span style="float: right;">0</span>
<b>Flexibilidad Operacional:</b> No hay repuesto <span style="float: right;">4</span> Hay opción de repuesto compartido <span style="float: right;">2</span> Repuesto disponible <span style="float: right;">1</span>	

**Tabla N° 2.1:** Criterios a evaluar

De acuerdo a la [tabla N° 2.3](#), donde se presenta el resumen de los cálculos realizados del riesgo que representa mantener un sistema de sellado en bombas de pulpa de nuestra planta. En esta tabla de la matriz del riesgo, se puede observar que el sistema de sellado a través de empaquetadura tiene el valor más alto del riesgo con **72 unidades**, calificándolo como un sistema Semi-Crítico, que lo hace deficiente y que amerita ser reemplazado por uno que demuestre mayor garantía operativa, como se observa en la misma tabla el sistema de sellado bipartido con **8 unidades**, calificándolo como un sistema No-Crítico.

Entonces se puede concluir, que el sistema de sellado que permitir tener grandes beneficios, es el sellado mecánico bipartido autobalanceado\*, debido a su alta eficiencia de operación, con el mismo se puede obtener ahorro significativos en la elaboración de Pulpa de Papel, en cuanto a costos de mantenimiento y de producción se refiere.

(\*) Más información de sello mecánico autobalanceado y elementos complementarios en **APENDICE E, F y H.**

## ANÁLISIS DE SELECCIÓN DEL SELLO (EVALUACIÓN CUALITATIVA GLOBAL)

TIPO DE SELLO	CRITERIOS						
	Mantenibilidad	Confiabilidad	Eficiencia	Control Ambiental	Costo Manten.	Costo Inversión	Valor Total Ponderad.
SISTEMA DE EMPAQUETADURA	7	3	5	2	7	8	32
SISTEMA DE SELLO MECÁNICO DE CARTUCHO	3	8	9	9	8	4	41
SISTEMA DE SELLO MECÁNICO PARTIDO	8	9	9	9	9	2	46

Ponderados General	
Malo	0 - 3
Bueno	4 - 7
Excelente	8 - 10

Costo de Inversión	
2000 - 6000 \$	0 - 3
1000 - 2000 \$	4 - 7
100 - 1000 \$	8 - 10

**Tabla N° 2.2:** Evaluación de criterios globales.

## ANÁLISIS DE SELECCIÓN DEL SELLO (EVALUACIÓN CUALITATIVA DEL RIESGO)

TIPO DE SELLO	FACTORES DE RIESGOS							
	Frecuencia	Impac. Operac.	Flexib.	Costo Mantto	S.A.H.	Consecuenc	Criticidad Frec x Cons	Matriz Riesgo
SISTEMA DE EMPAQUETADURA	4	10	1	2	6	18	72	Semi Critico
SISTEMA DE SELLO MECÁNICO DE CARTUCHO	1	10	1	2	6	18	18	No Critico
SISTEMA DE SELLO MECÁNICO PARTIDO	1	1	1	1	6	8	8	No Critico

C : Crítico	(91 - 200)
SC : Semi Crítico	(41 - 90)
NC : No Crítico	(1 - 40)

**FRECUENCIA**

4	40	80	120	160	200
3	30	60	90	120	150
2	20	40	60	80	100
1	10	20	30	40	50
	10	20	30	40	50

**CONSECUENCIA**

**MATRIZ DE CRITICIDAD**

**Tabla Nº 2.3:** Evaluación del riesgo.

### 2.3. Prueba piloto del sistema implementado

Para iniciar con este proyecto, se procede con una prueba piloto, donde se llevarán algunas pruebas principalmente para la evaluación de la eficacia del sistema, que servirá para continuar con el mismo o desistir por esta alternativa de mejora en el sistema de bombeo de pulpa de papel en la planta industrial.

Básicamente la prueba que se lleva a cabo, fue netamente de observación, donde se describe a continuación en la siguiente [tabla N° 2.4.](#)

<b>Aplicación:</b>	Molino #2
<b>Área:</b>	Preparación de Pulpa y Máquina de Papel.
<b>Equipos:</b>	Bomba Limpiador Primarios Posiflow P15 y Bomba del Tanque Couch P21
<b>Tiempo de evaluación:</b>	8 semanas
<b>Fugas:</b>	No se observan fugas de agua ni de pulpa de papel.
<b>Impacto ambiental</b>	Reducido el derrame de pulpa al efluente
<b>Año y mes de instalación</b>	Septiembre del 2003

**Tabla N° 2.4:** Tabla de datos prueba piloto.

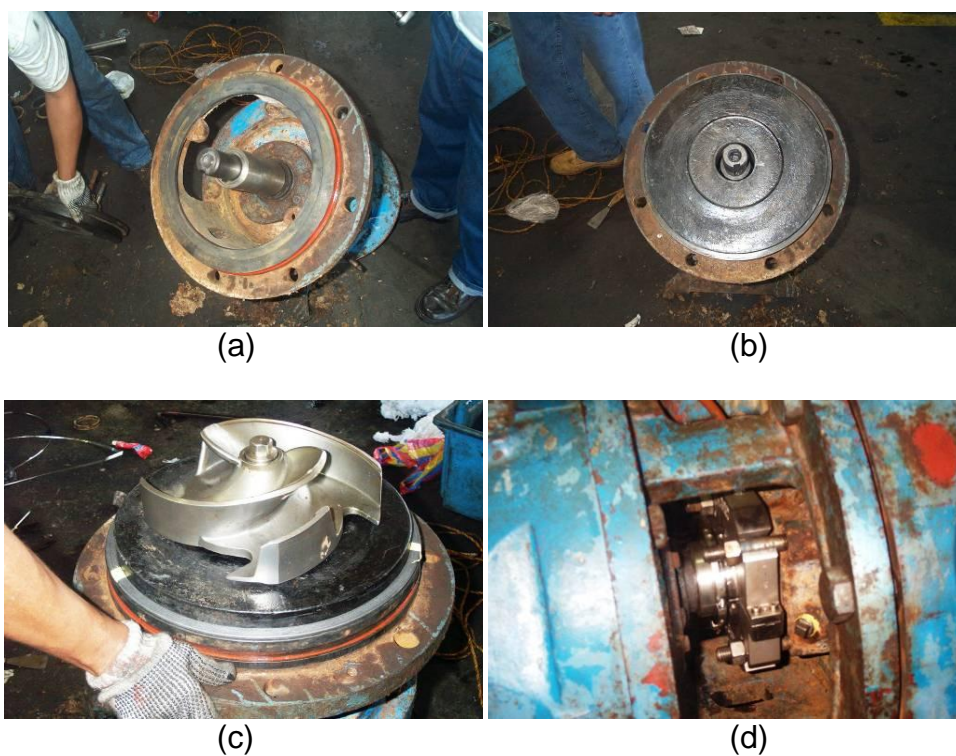
**Momentos especiales en el proceso de implementación de la mejora**

En las imágenes siguientes, se hace referencia a los momentos especiales, donde se lleva a cabo el montaje del nuevo sistema en la mejora en las primeras bombas del proyecto.



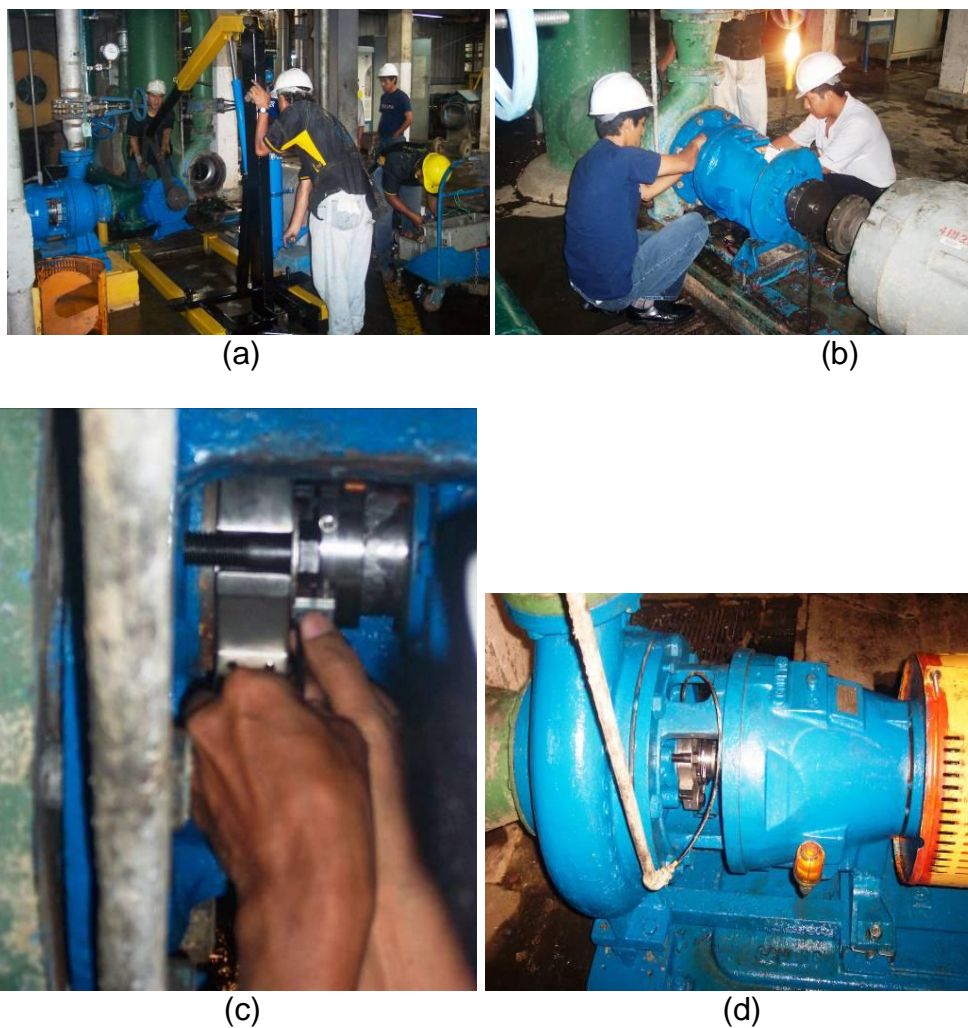
**Figura N° 2.6:** Proceso de mejora bomba limpiadores primarios posiflow P15.

Donde, se muestra (a) preparación del eje para el cambio de los rodamientos, (b) botella de bomba con rodamientos nuevos, (c) adecuación de elementos finales de la mejora (ver mas en apéndice H), (d) montaje final del sello, (e) y (f) personal promotores del proyecto de mejora y jefaturas responsables del proyecto.



**Figura N° 2.7:** Proceso de mejora en bomba del couch rotura P21.

La figura N° 2.7 muestra, (a) preparación de botella de bomba, (b) preparación del plato posterior de bomba, (c) montaje y ajuste del impulsor de bomba y (d) bomba con nuevo sistema de sellado.



**Figura N° 2.8:** Proceso de mejora en bomba primaria de máquina

Donde, (a) proceso de desmontaje de la bomba para el mantenimiento respectivo y preparación para la mejora, (b) y (c) montaje y ajuste de últimos elementos del sello mecánico partido, (d) disposición final del nuevo sistema de sellado.



### **Reporte condensado de las pruebas iniciales**

En las siguientes imágenes o figuras se muestran las diferencias en el área y equipo antes y después de instalación del sistema de sellado seleccionado en las 2 bombas sometidas a las pruebas iniciales.

#### **Bomba Primaria Posiflow P15**



Antes



Después

#### **Bomba del Couch Rotura P21.**



Antes



Después

**Figura N° 2.9:** Bombas de prueba piloto**Costo inicial de la instalación del nuevo sistema de sellado:**

Como arranque, el costo de la instalación del nuevo sistema de sellado es:

**Bomba P15:**

Costo del Sello Mecánico Partido

**(Split Seal, Style 85, 4 3/4"):** 5,283.00

Costo del Spiral Trac **FI 4750 RS 5750 ESC:** 626.54

Costo de mano de Obra: 150.00

**Sub-total:** **\$ 6,059.54**

**Bomba P21:**

Costo del Sello Mecánico Partido

**(Split Seal, Style 85, 3"):** 3,019.44

Costo del Spiral Trac **FI 3000 RS 4000 ESC:** 522.99

Costo de mano de Obra:	150.00
<b>Sub-total:</b>	<b>\$ 3,692.43</b>
<b>TOTAL</b>	<b>: \$ 9,751.97</b>

En resumen de esta prueba piloto y de acuerdo a lo observado desde la fecha de instalación hasta el mes de Octubre del 2003 fue la siguiente:

1. Existió cero fugas en las dos bombas intervenidas del molino 2 y en la bomba secundaria de máquina del molino 1, contribuyendo con esto a la reducción del impacto ambiental.
2. Una evidente mejora en el aspecto físico externo también contribuyendo con lo propuesto de mejorar el bombeo de pasta evitando pérdidas de pulpa.
3. Aumento de la disponibilidad y confiabilidad de la bomba, porque en este tiempo la bomba estuvo operativa al 100% y con cero fallas

#### **2.4. Implantación de sistema de sello mecánico en bombas.**

De acuerdo a las prueba piloto realizado por un lapso de 30 días, donde los resultados fueron favorables, se procede a confirmar y consolidar el cronograma de instalación del nuevo sistema de sellado

de las bombas de pulpa de papel con el personal contratado para esta tarea. El cronograma de instalación se ajusta al programa de mantenimiento preventivo de los equipos de bombeo según el plan anual de mantenimiento ya implantado varios años en nuestra planta, como lo se lo puede ver en [tabla N° 2.5](#), para los equipos del molino 2, considerados para la primera etapa de esta mejora.

En la primera etapa de la instalación del sistema de sellado en los equipos de bombeo de pulpa del molino 2, se sigue de acuerdo al programa planificado, pero por razones de disponibilidad de los equipos por las demandas de producción del mercado, fue desfasada esta planificación, logrando ejecutar en fechas posteriores, como se indica en la [tabla N° 2.6](#), donde se presenta el plan real de ejecución del cambio del sistema de sellado en los equipos de bombeo del molino 2. En este resumen se puede observar, que la ejecución del proyecto se la realizó en un lapso de un año aproximadamente, interviniendo dos a tres equipos por parada de mantenimiento del molino, la cual tiene por lo general una frecuencia de 4 a 6 semanas, tomando como precaución de no intervenir todos los equipos a la vez, por razones de poca disponibilidad del personal básicamente y además por ser el proceso normal de implantación de ciertos proyectos nuevos en nuestra empresa de acuerdo a las políticas de

mantenimiento internas. Además, en el desarrollo de instalación de los sellos, existió necesidades en el molino 1, por lo que se decide instalar algunos sellos, los cuales estaban programados para la 2<sup>da</sup> etapa del proyecto.

La 2<sup>da</sup> etapa del proyecto de mejora del sistema de sellado en las bombas de pulpa de papel de nuestra planta industrial, comprende a los equipos principales del molino 1. En la [tabla N° 2.7](#), se indica el listado de equipos, con su respectiva fecha de posible instalación, ósea se presenta el cronograma planificado de instalación del sistema de sellado. Así mismo se proyecta instalar de dos a tres sellos por parada de mantenimiento planificado y el tiempo estimado para la culminación del sistema es de dos años aproximado, desde el año 2004 al 2006.

En la [tabla N° 2.8](#), se observa el programa real de ejecución de la mejora implantada, donde existen algunos equipos de bombeo que fueron reemplazados y suspendidos su mejora planificada, los cuales serían considerados en una etapa posterior, siguiendo la línea de mejora ambiental. Además, los equipos que fueron considerados e implementados los sellos en la primera etapa, no se incluye en este

resumen, permitiendo tener un programa real de la implementación de la 2<sup>da</sup> etapa del sistema de sellado.

Como se puede ver, la mejora realizada en los equipos de bombeo de pulpa se planifica para 41 unidades, del cual se cumple con el programa, pero con 3 unidades menos en el molino 2 y 5 unidades menos en el molino 1, por diferentes razones entre ellas, algunas quedaron fuera de servicio y otras por renovación (cambio) con equipos modernos, en sí el proyecto de mejora se llevó en un total de 33 unidades de bombeo de pulpa.

### CRONOGRAMA DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE SELLADO EN MOLINO N° 2 (PLANIFICADO)

CODIGO EQUIPO	EQUIPO	AÑO 2003									
		MAY.	JUN.	JUL.	AGOST.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.		
81B 13	Bomba princ.del Hidropulper (P-02)		P								
83 B 11	Bomba del Bel Purge (P-01)							P			
832 B 10	Bomba Primaria Depuración Bagazo				P						
832 B 80	Bomba limpiadores terciarios (P-13)			P							
832 B 20	Bomba Secundaria Bagazo							P			
83 B 41	Bomba tanque dump chest (P-03)										P
83 B 54	Bomba de criba secundaria (P-04)										P
83 B 60	Bomba limpiad.primarios uniflow (P-05)		P								
83 B 61	Bomba limpiad.secud.uniflow (P-06)										P
83 B 62	Bomba limpiad.primarios posiflow (P-15)				P						
83 B 72	Bomba tanque de broke chest (P-22)						P				
84 B 11	Bomba tanque OCC (P-09)		P								
84 B 14	Bomba tanque de bagazo (P-12)			P							
83 B 64	Bomba limp.secund.posiflow (P-16)						P				
91 B 11	Bomba tanque de máquina (P-14)									P	
923 B 31	Bomba principal couch pit-rotura (P-20)			P							
923 B 32	Bomba couch pit-normal (P-21)				P						
96 B 401	Bomba del UTM break (P-26)							P			
96 B 402	Bomba del UTM trim (P-27)									P	

P PROGRAMADO

**Tabla N° 2.5:** Plan anual de instalación de sistema de sellado en molino 2

### CRONOGRAMA DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE SELLADO EN MOLINO N° 2 (REAL)

CÓDIGO EQUIPO	EQUIPO	AÑO 2003				AÑO 2004					
		SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	MAY.	JUN.	AGO.
81B 13	Bomba princ.del Hidropulper (P-02)					E					
83 B 11	Bomba del Bel Purge (P-01)				E						
832 B 10	<b>Bomba Primaria Depuración Bagazo</b>			P							R
832 B 80	Bomba limpiadores terciarios (P-13)						E				
832 B 20	<b>Bomba Secundaria Bagazo</b>				P						R
83 B 41	Bomba tanque dump chest (P-03)				E						
83 B 54	Bomba de criba secundaria (P-04)							E			
83 B 60	Bomba limpiad.primarios uniflow (P-05)							E			
83 B 61	Bomba limpiad.secud.uniflow (P-06)									E	
83 B 62	Bomba limpiad.primarios posiflow (P-15)	E									
83 B 72	Bomba tanque de broke chest (P-22)		E								
84 B 11	Bomba tanque OCC (P-09)					E					
84 B 14	<b>Bomba tanque de bagazo (P-12)</b>					P					R
83 B 64	Bomba limp.secund.posiflow (P-16)		E								
91 B 11	Bomba tanque de máquina (P-14)								E		
923 B 31	Bomba principal couch pit-rotura (P-20)							E			
923 B 32	Bomba couch pit-normal (P-21)	E									
96 B 401	Bomba del UTM break (P-26)									E	
96 B 402	Bomba del UTM trim (P-27)										E
41 B 21	Bomba Primaria de máquina			E							
41 B 24-1	Bomba Secundaria de máquina		E								
23 B 42	Bomba Primaria Uniflow				E						

E EJECUTADO   
 P PROGRAMADO   
 R REPROGRAMADO

**Tabla N° 2.6:** Resumen del plan de instalación ejecutado de sistema de sellado en molino 2



**CRONOGRAMA DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE SELLADO EN MOLINO N° 1 (PLANIFICADO)**

CÓDIGO EQUIPO	EQUIPO	AÑO 2004						AÑO 2005					AÑO 2006				
		ABRIL	JUNIO	JULIO	SEPT.	NOV.	DIC.	ENER.	FEBR.	MARZ.	ABRIL	NOV.	ENER.	FEBR.			
21B17	Bomba del Hidropulper # 2																
21B13-1	Bomba del Hidropulper #1 Kraft																
23B111-1	Bomba principal dump chest *																
23B241	Bomba tanque de broke *																
23B321-1	Bomba # 1 agua blanca norte (nueva)																
23B322-1	Bomba # 2 agua blanca sur (nueva)																
23B41	Bomba al selectifier																
23B43	Bomba limpiadores primarios posiflow																
23B45	Bomba limpiadores secundario uniflow																
23B47	Bomba limpiadores secundario posiflow																
24B111	Bomba principal desperdicios *																
24B211	Bomba tanque kraft refinación #1 *																
24B212	Bomba tanque kraft refinación #2																
24B31	Bomba tanque mezcla																
23B33	Bomba de regulacion de consistencia																
24B34	Bomba tanque pulpa kraft almacenam.																
23B42	Bomba limpiadores primarios uniflow																
41B111	Bomba tanque de máquina *																
423B31	Bomba del pozo couch # 1																
423B32	Bomba del pozo couch # 2																
41B21	Bomba primaria de máquina																
41B241	Bomba secundaria de máquina																

 PROGRAMADO

**Tabla N° 2.7:** Plan anual de instalación del sistema de sellado en molino 1

**CRONOGRAMA DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE SELLADO EN MOLINO N° 1 (REAL)**

CÓDIGO EQUIPO	EQUIPO	AÑO 2004						AÑO 2005					AÑO 2006		
		ABRIL	JUNIO	JULIO	SEPT.	NOV.	DIC.	ENER.	FEBR.	MARZ.	ABRIL	NOV.	ENER.	FEBR.	
21B17	Bomba del Hidropulper # 2													E	
21B13-1	Bomba del Hidropulper #1 Kraft						E								
23B111-1	Bomba principal dump chest *														E
23B241	Bomba tanque de broke *							P					R		
23B321-1	Bomba # 1 agua blanca norte (nueva)						E								
23B322-1	Bomba # 2 agua blanca sur (nueva)										E				
23B41	Bomba al selectifier			E											
23B43	Bomba limpiadores primarios posiflow								E						
23B45	Bomba limpiadores secundario uniflow									E					
23B47	Bomba limpiadores secundario posiflow			E											
24B111	Bomba principal desperdicios *							P						R	
24B211	Bomba tanque kraft refinación #1 *									P				R	
24B212	Bomba tanque kraft refinación #2		E												
24B31	Bomba tanque mezcla								E						
23B33	Bomba de regulacion de consistencia	E													
24B34	Bomba tanque pulpa kraft almacenam.				E										
41B111	Bomba tanque de máquina *	P												R	
423B31	Bomba del pozo couch # 1									E					
423B32	Bomba del pozo couch # 2						P							R	

E EJECUTADO   
 P PROGRAMADO   
 R REPROGRAMADO

**Tabla N° 2.8:** Resumen del plan de instalación ejecutado de sistema de sellado en molino 1

## **2.5. Seguimiento de los cambios realizados.**

El sistema propuesto para la disminución de pérdidas y por ende para mejorar el sistema de bombeo de pulpa, a la vez para disminuir las pérdidas, costos y obtener incrementos en la productividad en la elaboración de pulpa de papel, ha tenido algunos resultados muy importantes que podemos describirlos a continuación.

- Reducción del derrame de pulpa de papel.
- Reducción del consumo de agua.
- Mejoramiento en el aspecto ecológico en sitio.
- Reducción de intervenciones mecánicas.
- Reducción de los costos de mantenimiento
- Mejoramiento en la productividad (reducción de derrames)

Como tal y de acuerdo a su importancia, se puede describir con más detalle los cambios obtenidos.

**Reducción del derrame de pulpa de papel.-** Este tipo de derrame se daba, por tener un sistema de sellado deficiente, que a su vez representaba costos elevados, considerados como pérdidas en materia prima, útil para la elaboración de pulpa de papel (como se vio en el capítulo N° 1), por lo tanto, antes de la implantación del nuevo sistema de sellado, se tenía el siguiente dato:

Fuga promedio de pulpa de papel en GPM:	0.76
Consistencia de la pulpa de papel en %:	0.54
Costo de la tonelada de Materia Prima USD/TM:	163.00
Número de bombas del proyecto:	41
Días promedios de producción al año:	330

**Toneladas métricas de pulpa seca perdidas al día en TM/DÍA**

(BDTMPD = GPM x C x 0.0545):	0.076
Toneladas totales de pulpa perdidas al día TM/DÍA:	0.92
Toneladas Netas Pérdidas al año en TM/Año: $3.13 \times 330 =$	302.81

**Costo por pérdidas al año USD/Año:**  $302.81 \times 163 = 49,357.97$

Si se asume un error del 20% para considerar la discontinuidad del derrame de pulpa en las bombas, se tiene:

**Total de costo perdido por derrame de Pulpa de Papel al año (USD/Año):** **39,486.37**

Entonces el beneficio, con la implementación de este proyecto, es lograr ahorros en materia prima. Como se puede ver en el desarrollo de esta tesis y después del montaje del sistema de sellado en el

molino 2, por lo menos el resultado es rentable, porque antes se tenía constantes fugas, pero con la mejora realizada estas se aminoraron totalmente.

**Reducción del consumo de agua.-** Es un factor importante el aporte de este proyecto en el ahorro de agua de flush, ya que las bombas con sistema de sellado de prensaestopas y empaquetaduras necesitan refrigeración y lubricación, para lo cual el flujo de agua promedio según estándares es de 8 lt/min (2.11 gpm), que multiplicadas por el número de bombas del proyecto se tiene el siguiente resultado:

**Cantidad de agua consumida al año (GPA):**

$$2.0 \times 41 \times 475,200.00 = \mathbf{38'966,400.00}$$

Esta cantidad de agua consumida al año por las empaquetaduras de las bombas de pulpa, se la puede ahorrar por completo si se tuviera un sistema con materiales autolubricados, pero el sistema propuesto de sellos mecánicos, necesita también agua de lubricación al interior, pero se ha comprobado que el uso de esta agua se reduce aproximadamente a la mitad con este sistema de sellado, ósea que se obtiene ahorros del 50 % del consumo de agua para el flush con

el nuevo sistema de sellado. Por lo menos hasta el primer año estos resultados son favorables con cero fugas al efluente de fábrica.

Este rubro con las actuales leyes ambientales del gobierno con respecto al manejo de los recursos naturales, no tiene un significado monetario en relevancia, pero con los nuevos cambios en estas leyes, tendrá un costo significativo, lo cual se debería tener más conciencia con el uso y manejo de este recurso natural, e incluir su costo en el presupuesto financiero anual.

**Mejoramiento en el aspecto ecológico en sitio.-** Aspecto muy significativo en el mejoramiento ambiental en sitio de operación de las bombas. Se muestra con figuras el antes y después la ubicación de las bombas, donde se evidencia el derrame constante de pulpa al ambiente que es corregido con el sistema de sello mecánico.

**ANTES**



**DESPUÉS**



**Figura N° 2.10:** Bomba P14 antes y después.

**Reducción de las intervenciones mecánicas.-** Las intervenciones mecánicas han sido reducidas a 6 veces aproximadamente, ya que antes se las intervenía dos veces al año (cada 3,960.0 horas) y con la mejora realizada del sistema actual de sellado tienen un tiempo de operación de 2 años y 7 meses (20,460.0 horas) sin problemas, los cuales están proyectados para un periodo de más de 30,000.0 horas (3.8 años) de operación productiva en nuestra planta. Esto implica considerables ahorros por mantenimientos que se tratan en el siguiente capítulo.

**Reducción de los costos de mantenimiento.-** Estos fueron reducidos en un gran porcentaje, ya sea por mano de obra, repuestos e insumos y otros, considerados en las tareas normales de mantenimiento, los cuales se describen a continuación.

- **Reducción por mano de obra.** Como se vio en el capítulo anterior sobre los costos en mano de obra que representan las intervenciones con mucha frecuencia de los sistemas de bombeo de pulpa. Con la mejora realizada hasta ahora los resultados son favorables para los ahorros de la empresa, ya que antes se tenía costos promedios anuales de 11,800.0 USD/AÑO, ahora es posible que este valor se lo tendría que gastar cada 3 años

aproximadamente, ósea si se divide este valor para tres, se tendría costos anuales de 3,934.0 USD/AÑO. Ahora si se considera el costo anual y se lo multiplica por los 3 años que se espera no tener intervenciones de las bombas, se tiene **35,400.0 USD**, que restándole el valor anual ya calculado, se tiene el ahorro neto esperado de 23,600.0 USD.

- **Reducción por consumo de repuestos.** De igual manera los repuestos tienen gran significado en los costos de mantenimientos los cuales se considerara para los cálculos solo los más representativos como rodamientos, retenedores, camisa (bocín) y empaquetaduras.
- **Rodamientos.-** Con el nuevo sistema de sellado los consumos de rodamientos se han reducido, por que como se mostró en tabla N° 1.7, antes se tenía costos de 9,038.0 USD, ahora este valor saldrá del flujo de caja de nuestra empresa cada 3 años, por lo tanto se espera tener un ahorro de: **18,076.0 USD**
- **Retenedores.-** Este elemento también se cambiaba cada año en la reparación de la bomba, pero que con el nuevo sistema



de sellado se cambiaría cada 3 años por lo que se tendría un ahorro de **23,547.6 USD**.

- **Camisas (Bocines).** Este elemento se los cambiaba también 2 veces por año, con el proyecto de sistema de sellado mecánico no se necesita cambiar sino hasta cuando el sello sea reemplazado ósea en el tiempo garantizado o más. Por lo tanto también representa un ahorro al ser cambiado cada año sino cada 3 años o más aproximadamente. Entonces el ahorro en tres años sería de **19,678.82 USD**.
  
- **Empaquetaduras.** De igual modo ya no se necesita este elemento para el sistema de sellado, por lo tanto también representa un ahorro al no ser consumido en las bombas. Esto representa un ahorro en los tres años de **18,407.25 USD**, la idea es que estas sean reemplazadas completamente por sellos mecánicos.
  
- **Lubricantes.** Se lo podría despreciar, porque los costos de lubricante son bajos, más bien son importantes porque la deficiencia de estos perjudican la operación de las bombas, incrementando los costos de mantenimiento. Pero lo

importante es que la frecuencia de cambio de aceite por contaminación fueron reducidas por el reemplazo del sistema de sellado corrigiendo por completo las pérdidas de pulpa de papel en las bombas de proceso. Por lo tanto los cambios de aceite se normalizo a la frecuencia normal de un año.

**Mejoramiento en la productividad.-** Más que el mejoramiento de la productividad, con este proyecto se han reducido los derrames de materia prima al efluente de fábrica. Si se contabiliza esta cantidad antes del proyecto como se lo hizo en el capítulo 1, en la tabla 1.11, son aproximadamente 242.25 TM que se perdería al año, que comparados con la cantidad de materia prima consumida al año de 91,000.0 TM aproximadamente es pequeña, pero si se compara los costos por este derrame, son cantidades elevadas que se las puede usar para nuevas inversiones como este proyecto. Por lo tanto los ahorros obtenidos por las no pérdidas de materia al efluente asciende a los **39,486.37 USD** al año.

Aunque, este ahorro por mitigar por completo los derrames de materia prima es el valor más alto comparado con los costos de mantenimiento y otros, es un valor donde se está asumiendo que todas las bombas están fugando al mismo tiempo, cosa que

normalmente no ocurre y difícil de cuantificar en la práctica, sino que se está asumiendo el estado más crítico de operación de las mismas. Para obtener valores reales, sería muy engorroso, costoso y llevaría mucho tiempo en obtener datos por completo, es la razón por la cual se está considerando un porcentaje de error del 20 % del total, como se observa en la tabla 1.11.

Como resultados adicionales se observa en este seguimiento a los cambios realizados en los equipos de bombeo de pulpa que se obtiene una mejora en el tiempo medio entre reparación (TMER) de los equipos, se mantiene un mejor control del impacto ambiental cumpliendo con las regulaciones de medio ambiente y tratando de hacer que estas máquinas cumplan con niveles de Confiabilidad y Disponibilidad que vayan de acuerdo a las actuales exigencias de producción. Además, se reduce las paradas imprevistas por causa de daños en los sistema de sellado de bombas de pulpa y algo también importante es un mejor aspecto (buena presentación) físico del área, causando una buena impresión a los visitantes y personal de nuestra planta.