

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de
la Producción**

**“MEJORAS EN LOS EQUIPOS DE BOMBEO DE PULPA
DE PAPEL EN UNA INDUSTRIA PAPELERA”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de: apéndice

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Henry Rubén Bajaña Morante

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2012

AGRADECIMIENTO

A Dios, a todas las personas y docentes que colaboraron en la realización de esta TESIS, que aportaron directamente o indirectamente con ideas para la culminación de la misma. A Papelera Nacional S.A. por darme la oportunidad de ejecutar este proyecto en sus instalaciones.

DEDICATORIA

A Dios, a la memoria de mi Madre, quien con mucho amor, entusiasmo, esfuerzo y entrega fue parte de este logro. A mi esposa e hijos y familia, que han sido la motivación principal, para realizar y alcanzar esta metas.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Gustavo Guerrero M.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Ernesto Martínez L.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Francisco Andrade S.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÈCNICA DEL LITORAL“

Henry Rubén Bajaña Morante

RESUMEN

Este proyecto está dirigido y aplicado en Papelera Nacional S. A., empresa dedicada a la fabricación de papel Kraft y sus derivados y cuyo fin principal es atacar a los problemas causa raíz de las fugas de pulpa en bombas de proceso (pérdida de materia prima), las cuales causan deficiencia en los recursos utilizados, tanto para la producción como para mantenimiento, además causan impacto negativo al medio ambiente.

Con este proyecto se busca mejorar la operación de los equipos de bombeo de pulpa, aumentando su disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad, tiempos de operación más largos (TMER), los cuales son afectados por las constantes fuga de pulpa por el deficiente sistema de sellado actualmente en uso, teniendo consecuencia negativa en los costos de repuestos, en la mano de obra, tiempos imprevistos considerables, afectación al medio ambiente y otros.

Entonces con el esmero de superar estos problemas, se propone cambiar el sistema de sellado en bombas de pulpa, identificado como la causa raíz a los problemas presentados. Para ellos se hace un análisis

de selección, considerando primero un análisis global y después un análisis del punto de vista del riesgo que representa para el mantenimiento y a las operaciones la solución propuesta. Adicional a ello, se ha considerado también el criterio de la producción más limpia, siendo este uno de los criterios muy usados hoy en día en las plantas industriales.

Se procede a ejecutar el plan piloto en un grupo de bombas, como prueba inicial del proyecto, con el fin de evaluar la eficiencia del sistema de sellado, y así continuar con la implantación del proyecto en el total de las bombas de pulpa de la planta y a su vez, haciendo el seguimiento respectivo a los cambios realizados.

Para el cálculo de índices relacionados y enfatizados en este proyecto, se utilizan técnicas estadísticas como la distribución de Weibull, como herramienta usada para el estudio de la confiabilidad operacional en equipos mecánicos, técnicas comparativas de acuerdo al método históricos e introducidos conceptos modernos en el mantenimiento, como la disponibilidad, mantenibilidad, tiempo medio entre reparación (TMER) y otros.

El resultado esperado de este proyecto es disminuir las pérdidas de materia prima al efluente de fábrica, reducir los costos de producción y de mantenimiento corrigiendo el problema de fuga de agua y pulpa, mejoras en los índices de disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad de los equipos de bombeo de pulpa de papel, mejoras en los tiempos de operación de las bombas, reducción del recurso natural el agua usado en el sello mecánico, disminuir la contaminación ambiental y un óptimo retorno de la inversión, con su tiempo de recuperación de capital corto.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	V
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÌA.....	IX
ÌNDICE DE FIGURAS.....	X
ÌNDICE DE TABLAS.....	XII
ÌNDICE DE PLANOS.....	XIV
INTRODUCCIÒN.....	1

CAPÌTULO 1

1. PROBLEMA DE PÈRDIDA DE PRODUCTIVIDAD Y COSTOS POR MANTENIMIENTO.....	9
1.1. Descripción de la empresa y del proceso productivo en la fabricación de Papel Kraft.....	9
1.2. Pérdidas de productividad y costos por mantenimiento.....	17
1.3. Estadísticas de paradas no programadas y evaluación de derrames.....	40
1.4. Definición del problema.....	48

CAPÌTULO 2

2. MEJORAS AL SISTEMA DE SELLADO.....	61
2.1. Sistema de sellado de fluido tradicionales.....	62

2.2. Criterios en producción más limpia y selección de sello para bombas.....	70
2.3. Prueba piloto del sistema implementado.....	81
2.4. Implantación de sistema de sello mecánico en bombas.....	87
2.5. Seguimiento de los cambios realizados.....	95

CAPÍTULO 3

3. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE SELLADO.....	104
3.1. Índice de gestión de producción y mantenimiento.....	104
3.2. Cálculo de la productividad actual.....	136
3.3. Impacto ambiental de la solución propuesta.....	143

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	152
---	------------

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

DKL:	Double Kraft Liner
F:	Función de probabilidad
FC:	Factor de conversión
g/m ² :	gramos por metro cuadrado
Gal:	Galones
GPM:	Galones por minuto
GPA:	Galones por año
Lbs/hr:	Libras por hora
Lt/min:	Litros por minuto
ha:	hectáreas
Hrs:	Horas
HP:	Horse Power
ISO:	International Standard Organization
IR:	Índice de rendimiento (conversión)
ICE:	Índice de consumo de energía
IC _{H2O} :	Índice de consumo de agua
ICQ:	Índice de consumo de químico
ICv:	Índice de consumo de vapor
IP:	Índice de productividad
ITIP:	Índice de tiempos improductivo
Kg:	Kilogramo
Kg/cm ² :	Kilogramos por metro cuadrado
Kg/hr:	Kilogramo por hora
Kg./día:	Kilogramos por día
Km.:	Kilómetro
Kw:	Kilovatios
Kw-hr:	Kilovatios - hora
m:	metros
m/hr:	metros por hora
m ² :	metros cuadrados
mg/l:	miligramos por litro
m ³ :	metros cúbicos

m ³ /día:	metros cúbicos por día
NTMC:	Número total de fallas
OCC:	Old Corrugated Container
ROI:	Return On Investment
RPM:	Revoluciones por minuto
Sacos/hr:	Sacos por hora
Sacos/año:	Sacos por hora
SAH:	Seguridad Ambiente e Higiene
SGA:	Sistema de Gestión Ambiental
TAPPI:	Asociación técnica de Ingenieros, operadores, científicos, tecnólogos y ejecutivos que sirven a la pulpa, papel, empaque conversión e industrias relacionadas
TI:	Tiempo improductivo
TM:	Toneladas métricas
TMI:	Toneladas materia prima que ingresan
TMP:	Toneladas papel producidas
TM/año:	Toneladas métricas por año
TM/día	Toneladas métricas por día
TMER:	Tiempo Medio Entre Reparación
TMPF:	Tiempo Medio Para la Falla
TRI:	Tiempo Recuperación de la inversión
USD:	Dólares americanos
USD/AÑO:	Dólares americanos por año
USD/TM:	Dólares americanos por toneladas métricas

SIMBOLOGÍA

A:	Disponibilidad
β :	Parámetro de forma usado en la fórmula de distribución de Weibull
°C:	grados Celsius
%C:	Porcentaje de consistencia
BDMTPD:	Bond Dry Metric Tons per Day
e:	constante base de los logaritmos naturales, 2.71828
E:	valor esperado de la distribución de Weibull
Q:	Caudal en GPM
g:	Gravedad.
π :	Pi (3,1416)
D:	Diámetro de la tubería en (Ft)
d:	diámetro interior de la tubería en pulg.
L:	Longitud de la tubería en (Ft)
ln:	Logaritmo natural
R:	Número de Reynolds
f:	Factor de Fricción
ε :	Rugosidad (Ft)
η :	vida característica
R:	Confiabilidad del equipo
t:	Intervalo de tiempo
Γ :	función gamma
HCAL:	horas calendario
HROP:	Horas de operación
HTMN:	Horas totales por mantenimiento
NTMC:	Número total de fallas

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pag.
Figura N° 1.1.	Vista panorámica de Papelera Nacional.....	3
Figura N° 1.2.	Materia prima DKL y OCC respectivamente.....	7
Figura N° 1.3.	Producto terminado.....	8
Figura N° 1.1.	Diagrama bloques de preparación de pulpa molino 2....	14
Figura N° 1.2.	Flujograma de proceso máquina de papel molino 2.....	15
Figura N° 1.3.	Flujograma de proceso máquina de papel molino 1.....	16
Figura N° 1.4.	Estadísticas de Consumo Materia Prima y Producción.....	21
Figura N° 1.5.	Elementos de una bomba de proceso de pulpa de papel.....	29
Figura N° 1.6.	Esquema típico de sello con empaquetadura.....	32
Figura N° 1.7.	Partes de una bombas.....	33
Figura N° 1.8.	Estadísticas de tiempos por paradas de máquina.....	43
Figura N° 1.9.	Bomba del dump chest P03.....	50
Figura N° 1.10.	Bomba limpiadores primarios posiflow P15, molino 2.....	51
Figura N° 1.11.	Bomba limpiadores secundarios uniflow P06, molino 2.....	52
Figura N° 1.12.	Bomba tanque de mezcla P14-A, molino 2.....	53
Figura N° 1.13.	Bomba tanque de mezcla P14-A, molino 2.....	53
Figura N° 1.14.	Bomba secundaria de máquina, molino 1.....	54
Figura N° 1.15.	Bomba tanque de mezcla, molino 1.....	55
Figura N° 1.16.	Bomba limpiadores primarios uniflow, molino 1.....	55
Figura N° 1.17.	Estimación de la confiabilidad al inicio.....	59
Figura N° 2.1.	Sello por empaquetadura.....	64
Figura N° 2.2.	Sello mecánico de 1ra Generación.....	66
Figura N° 2.3.	Sello mecánico de 2da Generación.....	68
Figura N° 2.4.	Sello mecánico de 3ra Generación.....	69
Figura N° 2.5.	Sello mecánico de 4ta Generación.....	70
Figura N° 2.6.	Proceso de mejora bomba limpiadores primarios P15.....	82
Figura N° 2.7.	Proceso de mejora en bomba del couch rotura P21.....	83

	Pag.
Figura N° 2.8.	Proceso de mejora en bomba primaria de máquina.....84
Figura N° 2.9.	Bombas de prueba piloto.....86
Figura N° 2.10.	Bomba P14 antes y después.....98
Figura N° 3.1.	Disponibilidad promedio de equipos de bombeo.....117
Figura N° 3.2.	Histograma de TMPF de equipos de bombeo.....121
Figura N° 3.3.	Curva de la Bañera.....124
Figura N° 3.4.	Curva de estimación de datos.....127
Figura N° 3.5.	Distribución de la función Confiabilidad.....130
Figura N° 3.6.	Comportamiento de la Productividad (IP).....141
Figura N° 3.7.	Índice de Tiempo Improductivo (ITP).....143
Figura N° 3.8.	Ambiente de bomba P15 antes del Proyecto 2003.....146
Figura N° 3.9.	Ambiente de bomba P15 después 2006.....146
Figura N° 3.10.	Ambiente de bomba P06, noviembre 2003.....147
Figura N° 3.11.	Ambiente de bomba P06, Julio 2006.....148
Figura N° 3.12.	Ambiente de bomba Sec. Máquina, septiembre 2003.....148
Figura N° 3.13.	Ambiente de bomba Sec. Máquina, julio 2006.....149

ÍNDICE DE TABLAS

		Pag.
Tabla N° 1.1.	Capacidad productiva instalada.....	4
Tabla N° 1.2.	Capacidad de potencia instalada.....	5
Tabla N° 1.3.	Tamaño de la organización.....	5
Tabla N° 1.1.	Estadística de Consumo Materia Prima y producción.....	20
Tabla N° 1.2.	Costo de parada de producción.....	23
Tabla N° 1.3.	Consumo de agua anual.....	25
Tabla N° 1.4.	Costo de mano de obra contratada.....	28
Tabla N° 1.5.	Lista de partes de una bomba.....	34
Tabla N° 1.6.	Costos de repuestos antes del Proyecto.....	36
Tabla N° 1.7.	Costo de energía por uso de empaquetadura.....	38
Tabla N° 1.8.	Estadísticas de paradas por mantenimiento.....	42
Tabla N° 1.9.	Evaluación de derrame año 2002.....	46
Tabla N° 1.10.	Cálculo de pérdida pulpa de papel.....	47
Tabla N° 1.11.	Tiempo medio entre reparación y reparación (TMER).....	58
Tabla N° 1.12.	Resumen de costos en índices de mantenimiento.....	60
Tabla N° 2.1.	Criterios a evaluar.....	77
Tabla N° 2.2.	Evaluación de criterios globales.....	75
Tabla N° 2.3.	Evaluación del riesgo.....	80
Tabla N° 2.4.	Tabla de datos prueba piloto.....	81
Tabla N° 2.5.	Plan anual de instalación de sistema de sellado en molino 2.....	91
Tabla N° 2.6.	Resumen del plan de instalación ejecutado de sistema de sellado en molino 2.....	92
Tabla N° 2.7.	Plan anual de instalación de sistema sellado en molino 1.....	93
Tabla N° 2.8.	Resumen del plan de instalación ejecutado de sistema de sellado en molino 1.....	94
Tabla N° 3.1.	Estadística del Índice de Conversión.....	106

	Pag.
Tabla N° 3.2.	Estadística del Índice de conversión con pérdidas.....107
Tabla N° 3.3.	Índice de Costo por pérdidas.....109
Tabla N° 3.4.	Consumo de agua con mejora en bombas.....112
Tabla N° 3.5.	Disponibilidad de bombas de Pasta antes del Proyecto.....115
Tabla N° 3.6.	Disponibilidad de bombas de Pasta del molino 2(Proyecto).....116
Tabla N° 3.7.	Tiempo Medio Para la Falla (TMPF) en molino 2.....119
Tabla N° 3.8.	Tiempo Medio Para la Falla (TMPF) en molino 1.....119
Tabla N° 3.9.	Tiempo medio para la falla (TMPF).....120
Tabla N° 3.10.	Histograma de datos del TMPF.....121
Tabla N° 3.11.	Datos ordenados del molino 1 y molino 2.....126
Tabla N° 3.12.	Distribución de la función Confiabilidad.....129
Tabla N° 3.13.	Ahorros de repuestos.....132
Tabla N° 3.14.	Índices de consumo de repuestos.....133
Tabla N° 3.15.	Costo por mano de obra.....135
Tabla N° 3.16.	Índice de consumo de vapor.....137
Tabla N° 3.17.	Factor de conversión de materia prima.....139
Tabla N° 3.18.	Valores promedios de ICE.....140
Tabla N° 3.19.	Producción Real vs Presupuestada.....141
Tabla N° 3.20.	Índice de tiempos improductivos (ITIP).....142
Tabla N° 3.21.	Tabla de Resultados.....150

ÍNDICE DE PLANOS

- Plano 1. Bomba típica para manejo de pulpa, Modelo 3175, Goulds.
- Plano 2. Sistema de sellado usado en la mejora en los equipos de bombeo de la planta industrial.
- Plano 3. Detalle dimensionales de sello mecánico de los equipos de bombeo.

INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de **PAPELERA NACIONAL S.A.** es la producción de papel kraft y sus derivados, con una plena optimización de los recursos usados para esta actividad, como así mantener una plena armonía con el medio ambiente. Por ello es un valor fundamental el mejoramiento continuo de los procesos y la utilización de nuevas técnicas que aminoren el impacto que se pueda producir al medio ambiente y la comunidad, a la vez le permita tener un desarrollo sustentable y competitivo.

Como parte de este mejoramiento continuo nace este proyecto de **Mejoras en los equipos de bombeo de pulpa de papel**, usando un sistema que permita solucionar las constantes fugas y derrames de pulpa en las bombas de pasta, lo que generaba para la empresa cuantiosas pérdidas de recurso fibroso necesario para su proceso productivo. Este sistema además de solucionar el derrame de pulpa al efluente de fábrica, también permitirá aumentar la productividad en la elaboración de pulpa de papel que repercute directamente en la disminución del impacto ambiental provocado por estas fugas.

Como consecuencia de estos cambios se espera obtener una optimización importante de los recursos naturales como el agua, disminuir los tiempos improductivos causado por las fugas constantes de pulpa con el sistema actual de prensaestopa, reducir los costos de mantenimiento por reparaciones repetitivas (en repuestos, horas hombres y otros), disminuir la frecuencia de intervención de bombas e incrementar las horas de operación de las mismas, llevarlas de 6000 horas a 30000 horas de operación ininterrumpidas. Además, reducir los problemas de elementos rodantes en bombas por contaminación del lubricante producto de las fugas constantes de pulpa, y aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos para el proceso productivo. No dejando atrás criterios importantes como es el de la "Producción más limpia" como una *"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"*.

Reseña Histórica.- Papelera Nacional S.A. está ubicada en el Cantón Marcelino Maridueña del Km. 35 vía al Triunfo, es una planta industrial dedicada a la producción de Papel Kraft Test Liner, Corrugado medio y Papel Extensible el cual es utilizado para la producción sacos para empacar cemento y azúcar en las empresas cementeras e ingenios azucareros respectivamente. Fue constituida legalmente el 28 de febrero de 1961 y en

1968 inició sus operaciones con una capacidad instalada de 10.000,00 TM/año de papel kraft de bajo peso básico, acompañada con el montaje de una planta de pulpa de bagazo de caña de azúcar, para aprovechar las materias primas fibrosas, generadas en la producción de azúcar del Ingenio San Carlos.

En 1985 comienzan las reformas, en este año se amplía el molino 1 para la producción de papel extensible o semiclupack y se aumenta la capacidad instalada a 30.000,00 TM/año. En 1992, comienzan los estudios para la adquisición de un nuevo molino, y en 1994 se lo inaugura, para producir papel corrugado medio y test-liner; y con esto se incrementa la capacidad instalada a 80.000,00 TM/año.

Actualmente, con las mejoras y optimización de los recursos que se han ejecutado para la producción de papel Kraft, se cuenta con una capacidad instalada más de 97.000,00 TM/año y tiene una superficie de 129.370,0 m² donde 19.265,0 m² le corresponde al área industrial. Ver [figura N° I.1](#)

Papelera Nacional S.A., cuenta con dos molinos de producción de papel antes dicho, con una planta de pulpa de bagazo, con su propia planta generadora de vapor y con una planta convertidora de papel extensible, donde se fabrican los sacos de cementos y azúcar.

La planta de fuerza se dedica al suministro de energía, agua, vapor y aire a los molinos de producción de papel. Las calderas en total tres unidades dos de vapor sobrecalentado y una de vapor saturado, las primeras se encargan de generar vapor para la operación del Turbogenerador y la tercera para el molino 1, molino 2 y planta de pulpa de bagazo; en total las calderas tienen una capacidad de generación de vapor de 130.000,0 Lbs/hr. El turbogenerador tiene una capacidad de 4.000,0 Kw/hr, utilizado solo en los tiempos de emergencia o recesión eléctrica del país.

La planta de bagazo tiene una capacidad de 20.000,0 TM/año, que alimenta con pulpa de bagazo a los dos molinos de papel. De igual manera la planta de conversión tiene una capacidad instalada de 30`000.000,0 sacos/año y otros como se muestra en [Tabla N° I.1.](#)

En resumen se muestra en la siguiente tabla, la capacidad instalada de la planta:

AREA	CAPACIDAD	EXPRESADA
Molino 1 de papel	33.000	TM / año
Molino 2 de papel	64.000	TM / año
Total de producción de papel	97.000	TM / año
Producción de sacos	6.000	Sacos / hr
Tubos en espiral	600	m / hr
Ribetes	350	Kg. / hr
Calderas	130.000	Lb. vapor / hr
Turbogenerador	4.000	Kw. / hr
Agua fresca	3.000	GPM

Planta de pulpa de bagazo	20.000	TM / año
---------------------------	--------	----------

Tabla N° I.1: Capacidad productiva instalada.

Si se convierte en potencia instalada, se obtiene la siguiente **Tabla N° I.2.**

POTENCIA INSTALADAS EN PLANTA		
DESCRIPCION	HP	KW
Planta de conversión	174,22	129,97
Planta de tratamiento de efluente	161,47	120,46
Máquina de papel M1	5.428,52	4.049,68
Máquina de papel M2	6.920,01	5.162,33
Planta de fuerza	1.978,47	1.475,94
Planta de pulpa de bagazo	1.112,72	830,09
Total	15.775,41	21.146,66

Tabla N° I.2: Capacidad de potencia instalada.

Tamaño de la Organización.- Papelera Nacional, está estructurada según el cuadro adjunto.

Ítems	N° Personas	Distribución %		
		Administración	Producción	Servicios
Ejecutivos	8	50	25	25
Funcionarios	80	64	10	26
Empleados	34	70	10	20
Obreros	228	50	32	18
Total	350	55	25	20

Tabla N° I.3: Tamaño de la organización



FIGURA Nº I.1: Vista panorámica de PAPELERA NACIONAL S.A.

Materia prima.- La materia prima utilizada normalmente es el recorte de cartón proveniente de las cartoneras, recolectados en el ámbito nacional e internacional más conocido o denominado DKL (Double Kraft Liner), el cartón reciclado denominado OCC (Old Corrugated Container), pulpa de bagazo de caña de azúcar y pulpa virgen de madera importada para la producción de papel extensible. Ver [Figura N° 1.2](#) (a y b)



(1.2 a)



(1.2 b)

FIGURA N° 1.2: Materia prima DKL y OCC respectivamente.

Los productos.- Los productos que se producen son: Papel Corrugado Medio desde 110 hasta 190 gr/m², para la producción de cajas de cartón con mayor resistencia al aplastamiento y apilamiento; papel Test Liner desde 127 hasta 270 gr/m², para la producción de cajas con propiedades estructurales o auto soportadas para uso interno del contenido embalado; papel Extensible desde 95 hasta 110 gr/m², usado en la fabricación de sacos multicapas para cemento y azúcar por su alta resistencia a la extensión para absorber

energía producida en un impacto; y tubos espiralados de cartón, fabricados con ribetes de papel kraft de 8cm. de ancho y con peso de 146 hasta 270 gr/m², usados como núcleos para la envoltura de papel en la rebobinadora.

Ver [Figura Nº I.3\(a, b y c\)](#)



(I.3 a)



(I.3 b)



(I.3 c)

FIGURA Nº I.3: Productos terminados

CAPÍTULO 1

1. PÉRDIDAS DE PRODUCTIVIDAD Y COSTOS POR MANTENIMIENTO

Papelera Nacional, es una empresa industrial ecológica donde la actividad principal es la fabricación de papel kraft, la cual se describe a continuación.

1.1. Descripción de la empresa y del proceso productivo en la fabricación de Papel Kraft.

Descripción del Proceso Productivo.- El proceso de elaboración de Pulpa de Papel en ambos molinos de producción, está compuesto de seis etapas principales con pequeñas diferencias dependiendo del molino y del papel a producir, las cuales se describen a continuación, ver diagrama de bloques y flujogramas general del proceso productivo, [figuras N° 1.1, N° 1.2 y N° 1.3,](#)

Primera Etapa.- Comienza con la recepción de la materia prima, la cual es clasificada de acuerdo a la formulación que se necesita para el tipo de papel que se va a producir. La materia prima se la clasifica de acuerdo a su tipo, el que proviene de las cartoneras se lo conoce como **Cartón Industrial** o conocido mayormente como **DKL (Double Kraft Liner)**, este puede ser importado o nacional, el cual es considerado con pocas impurezas (plásticos, grapas, otros) y la humedad aceptada para su recepción es del 10 %; y el **Cartón Reciclado** conocido como **OCC (Old Corrugated Container)**, es el que se recibe de las diferentes empresas de reciclaje a nivel nacional e internacional, por lo tanto contiene grandes cantidades de impurezas, pero solo es aceptada las que tienen un máximo de 5% de impurezas y 12% de humedad, fuera de estos parámetros se convierte en un problema para el proceso productivo en la elaboración de pulpa de papel. También se usa material fibroso conocido como **Pulpa Virgen**, extraído directamente de la madera y se lo utiliza normalmente para elaborar pulpa para la producción de papel Kraft, con el cual se fabrican los sacos de cemento y azúcar, este material fibroso se lo destina principalmente en el proceso productivo del molino 1, ver [figura N° 1.3](#). El bagazo de caña de azúcar, se lo obtiene de la molienda de caña en el Ingenio San

Carlos, este bagazo se lo mezcla con otros ingredientes como la soda cáustica, para obtener finalmente la pulpa de bagazo.

Segunda Etapa.- Se realiza la disgregación de la materia prima o fibra, que consiste en la separación de las fibras de otros componentes de la materia prima, en un sistema acuoso conocido el pulpeo de la fibra. Esta etapa, está integrada por el **Hidropulper**, **El Belt Purge** y **Los limpiadores de alta densidad**, con los cuales la fibra recibe el trato especial, para ser depurada en su primera etapa, separándola de los plásticos, alambres e impurezas más grandes. En el **Pulper**, se separa una parte de las impurezas; en el **Belpurge**, se separa la fibra no disgregada por tener material químico compuesto resistente a la humedad y algo más de plásticos, y en **Los Limpiadores de alta densidad**, se eliminan arenas, grapas y piedras en caso de existir.

Tercera Etapa.- Es otra etapa de separación de impurezas, conocida como Depuración de Fibra, proceso en el que continua separando y eliminando contaminantes de la materia prima y está compuesto por las **Cribas Presurizadas I y II**, en las cuales se eliminan las impurezas que no pasan por los orificios y ranuras de clasificación del equipo; **El Separplast** que cumple con separar totalmente los

plásticos y recibir el rechazo de la Criba II y recuperar la fibra que viene en este último; Los Limpiadores Centrifugos, que se dividen en **Uniflow**, que eliminan impurezas de menor densidad que la fibra y **Posiflow**, que desechan contaminantes de mayor densidad que la fibra.

Cuarta Etapa.- Conocida como el Espesado de la pulpa, en donde se usa el equipo conocido como el Polydisk, el cual cumple con espesar la suspensión de fibra hasta regular la consistencia para el siguiente paso, en este paso se eleva la consistencia a 9 – 10 %C. El Polydisk además se encarga de separar los filtrados en agua turbia y agua clara.

Quinta Etapa.- La refinación, es el proceso mecánico, con el cual la fibra es cortada y desfibrilada para tener mejores propiedades físicas de la fibra. En este paso intervienen los Refinadores de Máquina, OCC y de Brocke. Es la etapa, donde se dan todas las propiedades físicas del papel y donde también es importante la dosificación de almidón que se suministra directamente a la pasta (pulpa).

Sexta Etapa.- Es la etapa, donde comienza la mezcla de pulpa, en la cual se combinan las fibras de diferentes propiedades según el

grado de papel a fabricar, para luego realizarse la limpieza de baja densidad, donde además se separa las impurezas livianas, mediante centrifugado y diferencia de densidad, realizado por baterías de limpiadores de baja densidad; y la depuración final a través de un depurador presurizado llamado Selectifier o Criba M32, teniendo como objetivo acondicionar la pulpa previo su ingreso a la Máquina de Papel, ver [figuras N° 1.2 y N° 1.3](#).

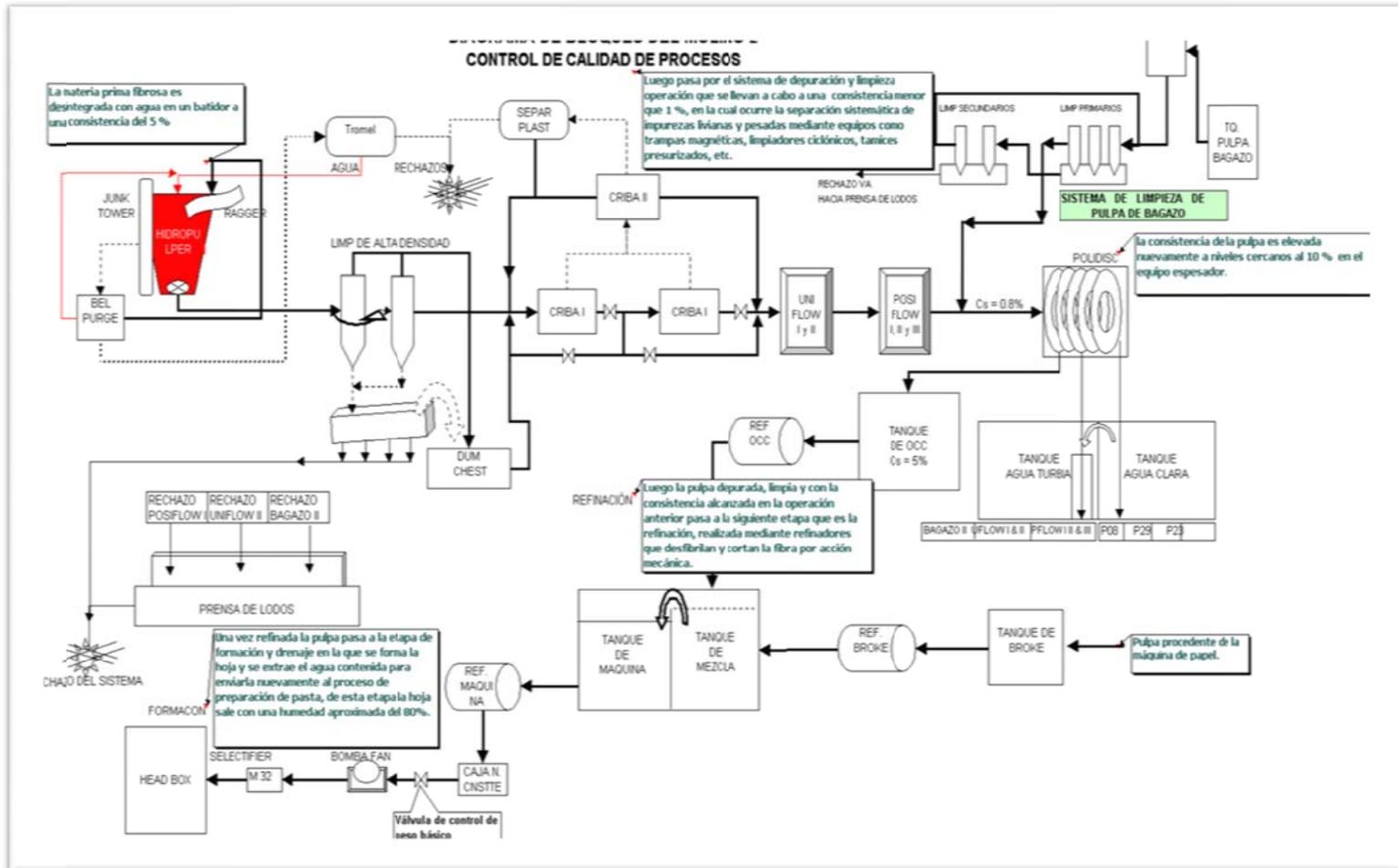


Figura N° 1.1: Diagrama de bloques de preparación de pulpa molino 2

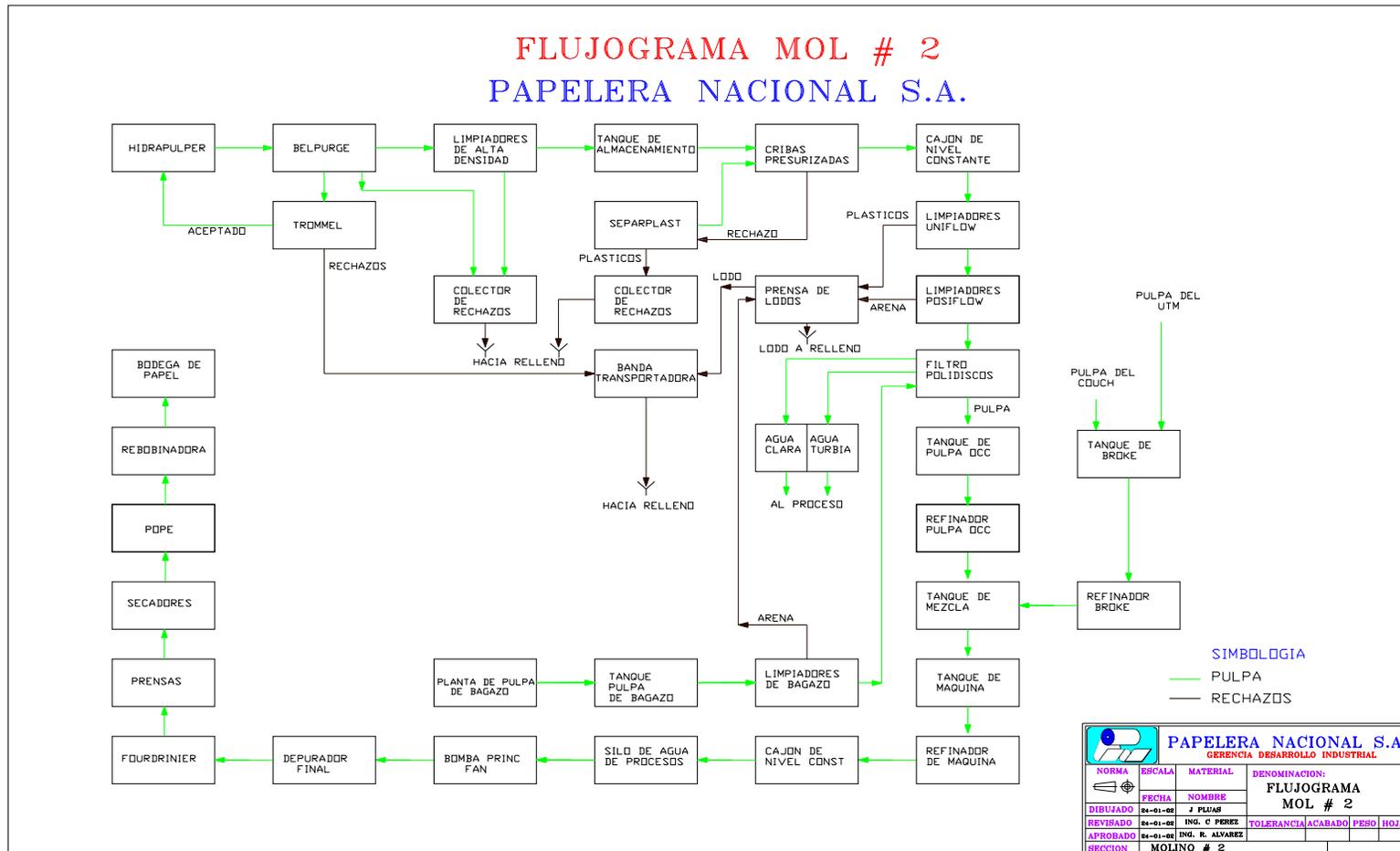


Figura N° 1.2: Flujo de proceso máquina de papel molino 2

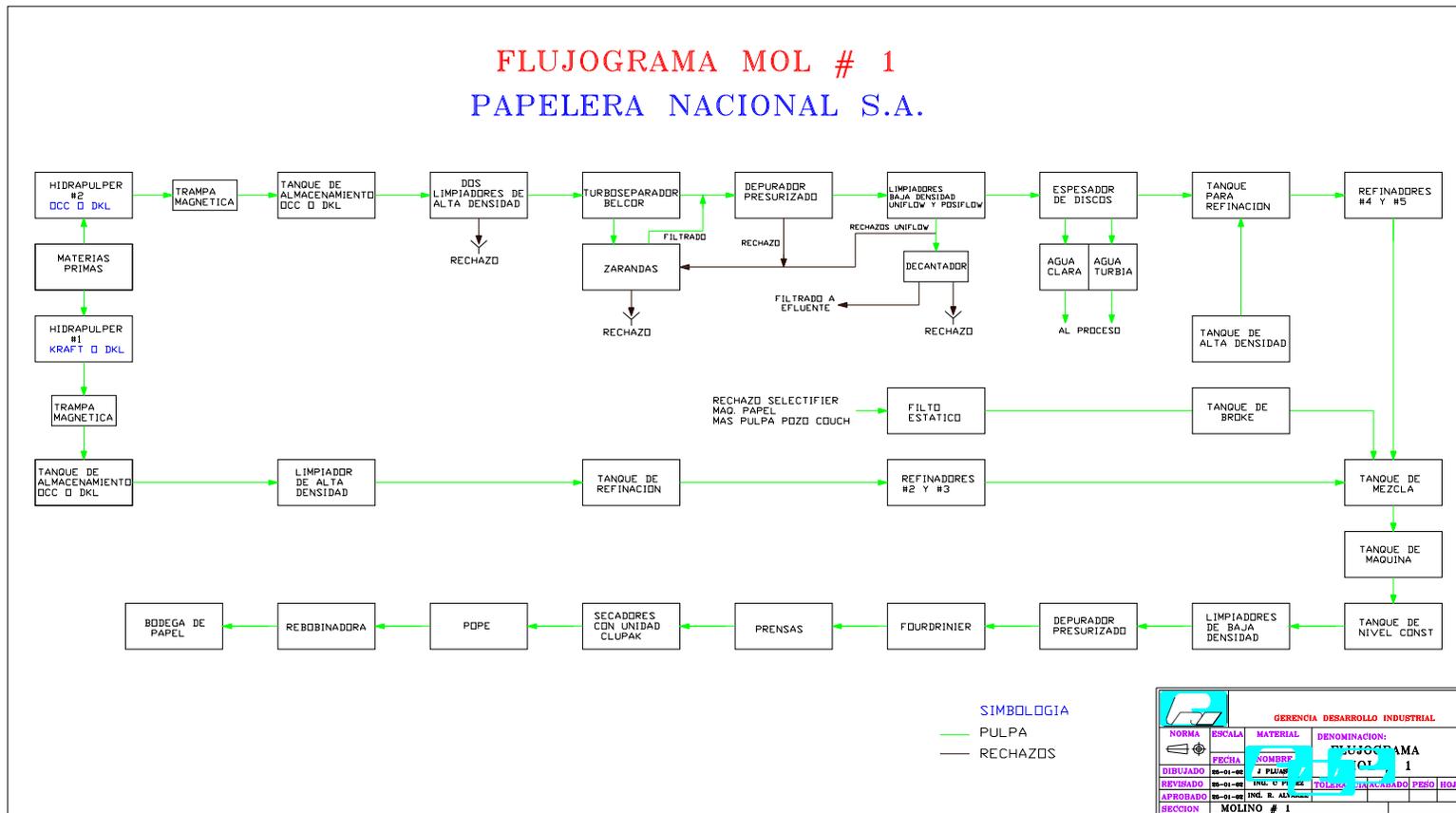
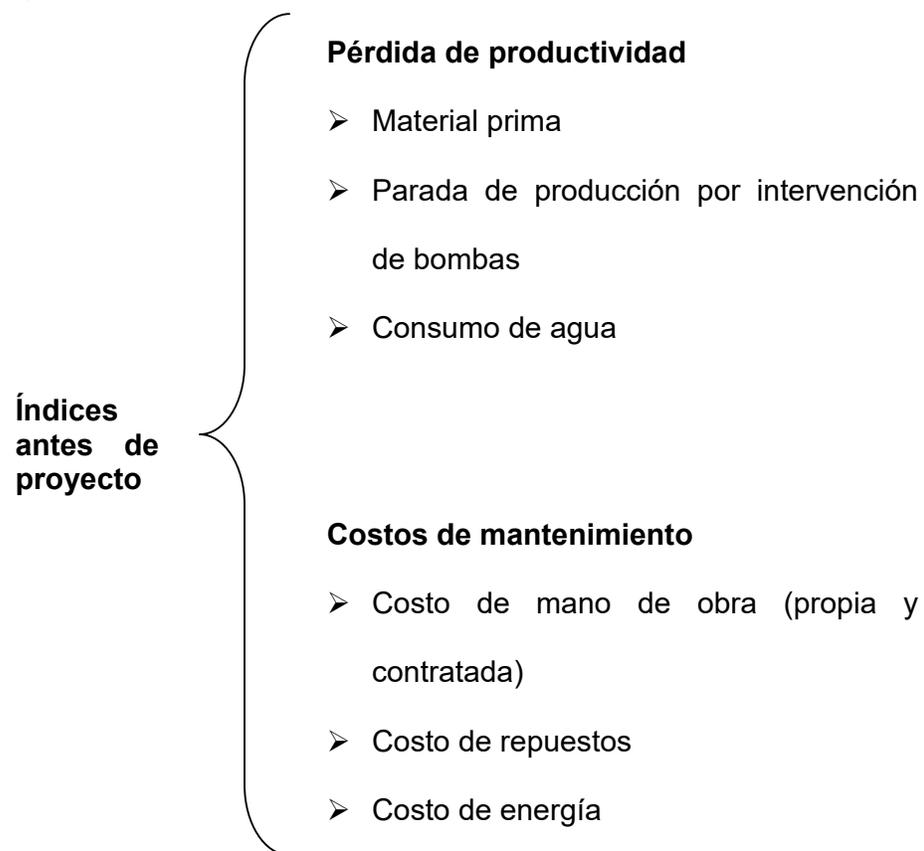


Figura N° 1.3: Flujo de proceso máquina de papel molino 1

1.2. Pérdidas de Productividad y Costos por Mantenimiento.

Unos de los problemas existentes en Papelera Nacional S.A., son las constantes pérdidas de fluidos en el proceso de papel, que causan efectos negativos en los costos de producción y costos por mantenimiento, además causando afectaciones al medio ambiente de la región o comunidad. Lo que se puede resumir en el siguiente esquema.



Adicional a estos costos, se puede mencionar unos cuantos más como: Costo por limpieza de planta por fugas de pulpa, impacto

ambiental, tratamiento de agua en estos efluentes, costos de químicos, costos de elementos secundarios en el sellado de bombas con empaquetaduras como anillos linternas, usado en el enfriamiento de las mismas, que en el desarrollo de este proyecto se evaluará si es necesario considerarlo para el resultado final, aunque el enfoque principal del mismo es sobre los pérdidas de materia prima y costos de mantenimiento, como agentes principales que afectan a la productividad de la empresa.

Pérdidas de Productividad.

La productividad, siendo un parámetro de gran importancia para la supervivencia de una empresa, se debe considerar para el mejoramiento continuo utilizando los nuevos medios tecnológicos de hoy.

Según datos históricos se conoce que un goteo constante de pulpa de papel por la empaquetadura en los equipos de bombeo en máquinas papeleras, equivale de 80 a 100 litros (20 a 25 Gal.) por día, cuyo costo es representativo, el cual se lo puede usar para invertir en nuevas tecnologías que corrijan el problema.

Los problemas principales, por lo cual los niveles de productividad han sido afectados en Papelera Nacional en estos últimos años, son las fugas de pulpa en las bombas de proceso, como se describió anteriormente, lo que ha repercutido en un mayor consumo de materia prima y energía para compensar estas pérdidas, elevando así los costos de producción y mantenimiento.

Definición de Productividad.- Como se comentó anteriormente, además de los costos de mantenimiento, costos de derrames, contaminación ambiental y otros relacionados con las operaciones de las bombas de pulpa, todos estos sumados, son los principales agentes de afectación a la productividad, la cual se la puede definir como: *“La productividad la podemos definir como la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados.”*

En la mayoría de los casos de los parámetros medidos para cuantificar las condiciones iniciales del proyecto, todos ellos están relacionadas con la productividad, ósea en las toneladas de papel producidas, por lo tanto si se incrementan los costos, se incrementa los recursos de entrada y por lo tanto la productividad es menor.

- ➔ **Materia Prima.-** Como estimado se tiene que las pérdidas por fugas de materia prima transformada en pulpa de papel, y que emigran al efluente de fábrica ascienden a **40,000.0 USD/Año**, cálculo realizado más adelante en la sección 1.3 de *“Estadísticas de paradas no programadas y evaluación de derrames”*, que perjudica a la rentabilidad de empresa y que trae como resultado una disminución de sus utilidades y la de sus empleados.

Se presenta un histórico de la producción y consumo de materia prima en las máquinas de papel, reflejado en el índice mostrado en la [tabla N° 1.1](#) y [figura N° 1.4](#).

ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD (xMP)				
Año	Materia Prima [TM]	Producción Papel [TM]	Índice	
			Estándar	Real
2001	92,960.22	81,508.61	1.12	1.14
2002	89,218.96	79,514.47	1.12	1.12
2003	94,829.09	84,082.97	1.12	1.13
2004	98,291.55	87,930.58	1.12	1.12
2005	102,642.22	90,625.25	1.12	1.13

Tabla N° 1.1: Estadística de Consumo Materia Prima y Producción

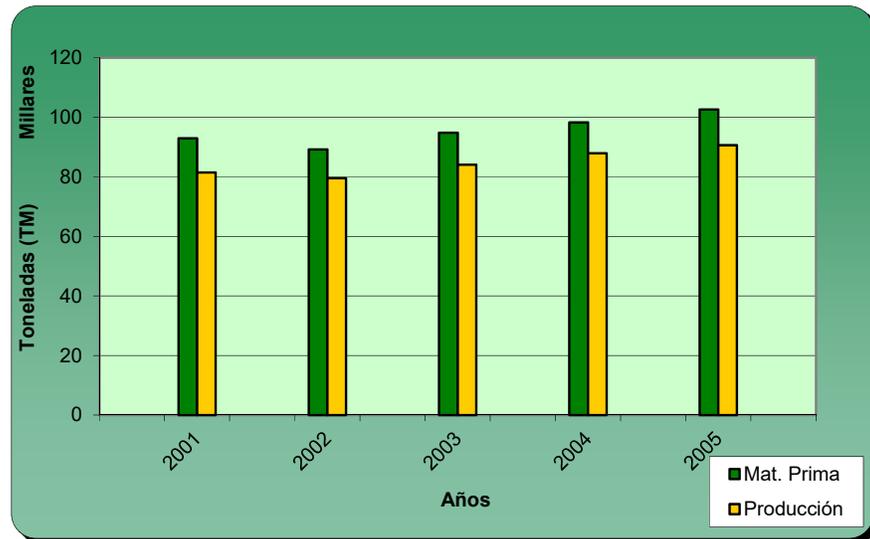


Figura N° 1.4. : Estadísticas de Consumo Prima y Producción

- ➡ **Parada de producción por intervención de bombas.-** El daño de elementos de sellado por medio de prensaestopas, repercute de una manera directa e indirecta en la baja productividad de la empresa y costos de mantenimiento, por ello hacer un análisis de las pérdidas obtenidas por esta causa, siempre va hacer necesario para cuantificar lo perdido y a la vez proponer planes de mejora y corregir la causa raíz de los problemas de fuga. En nuestro caso, si se hiciera un análisis por equipo, sería muy engorroso, porque las paradas por cambio de empaquetaduras no solo incluye la mano de obra necesaria para estas intervenciones y el tiempo de paro del equipo, sino también el costo o lo que se deja de producir (ganar) al parar la producción por esta causa, lo que normalmente

se puede decir es poco probable, porque por lo general cuando ocurre este daños, se toman acciones provisionales como cambio de empaques usando personal propio, cuyo costo es menor que el contratado, y se programa el mantenimiento mayor en una parada mensual programada. En [tabla N° 1.2](#), se indica el costo que representa el parar la producción por lo menos un equipo al año por cada molino, que sumando estos valores resultaría un aproximado de **38,800.0 USD/año**, que es la cantidad que se dejaría de vender.

COSTOS POR PARAR LA PRODUCCIÓN					
CODIGO EQUIPO	EQUIPO	COSTO x PAR PRODUCCION USD / HR	HORAS x CAMBIO EMPAQUES	TIMER	COSTO x PARADA PRODUCCION USD / AÑO
				PROM MES	
81B 13	Bomba princ.del Hidropulper (P-02)	4,500.0	4	7.5	28,800.0
83 B 11	Bomba del Bel Purge (P-01)		4	6.0	
832 B 10	Bomba Primaria Depuración Bagazo		4	9.0	
832 B 80	Bomba limpiadores terciarios (P-13)		4	5.0	
832 B 20	Bomba Secundaria Bagazo		4	6.0	
83 B 41	Bomba tanque dump chest (P-03)		4	12.0	
83 B 54	Bomba de criba secundaria (P-04)		4	2.0	
83 B 60	Bomba limpiad.primarios uniflow (P-05)		4	3.5	
83 B 61	Bomba limpiad.secud.uniflow (P-06)		4	9.0	
83 B 62	Bomba limpiad.primarios posiflow (P-15)		4	3.5	
83 B 72	Bomba tanque de broke chest (P-22)		4	3.0	
84 B 11	Bomba tanque OCC (P-09)		4	3.0	
84 B 14	Bomba tanque de bagazo (P-12)		4	6.0	
83 B 64	Bomba limp.secund.posiflow (P-16)		4	9.0	
91 B 11	Bomba tanque de máquina (P-14)		4	6.0	
923 B 31	Bomba del couch normal (P-20)		4	12.0	
923 B 32	Bomba del couch rotura (P-21)		4	9.0	
96 B 401	Bomba del UTM break (P-26)		4	12.0	
96 B 402	Bomba del UTM trim (P-27)		4	6.0	
21B17	Bomba del Hidropulper # 2	2,500.0	4	12.0	10,000.0
21B13-1	Bomba del Hidropulper #1 Kraft		4	12.0	
23B111	Bomba principal dump chest *		4	8.0	
23B241	Bomba tanque de broke *		4	8.0	
23B321-1	Bomba # 1 agua blanca norte (nueva)		4	7.5	
23B322-1	Bomba # 2 agua blanca sur (nueva)		4	3.5	
23B41	Bomba al selectifier		4	8.0	
23B43	Bomba limpiadores primarios posiflow		4	6.0	
23B45	Bomba limpiadores secundario uniflow		4	6.0	
23B47	Bomba limpiadores secundario posiflow		4	6.0	
24B111	Bomba principal desperdicios *		4	8.0	
24B211	Bomba tanque kraft refinación #1 *		4	6.0	
24B212	Bomba tanque kraft refinación #2		4	6.0	
24B31	Bomba tanque mezcla		4	9.0	
23B33	Bomba de regulacion de consistencia		4	8.0	
24B34	Bomba tanque pulpa kraft almacenam.		4	3.0	
23B42	Bomba limpiadores primarios uniflow		4	4.2	
41B111-1	Bomba tanque máquina		4	12.0	
423B31	Bomba del pozo couch # 1		4	3.0	
423B32	Bomba del pozo couch # 2		4	12.0	
41B21	Bomba primaria de máquina		4	7.5	
41B241	Bomba secundaria de máquina		4	12.0	
COSTO TOTAL PERDIDO (USD/AÑO)					38,800.0

Tabla N° 1.2: Costo por parar la producción.

➔ **Consumo de agua.**- El agua para el enfriamiento y lubricación de los empaques, que es el sistema actual de sellado de las bombas de proceso en nuestra planta, es de gran importancia, porque sin ella fallaría de una manera prematura las empaquetaduras, dando como consecuencia incrementos en las paradas de las bombas y del proceso de producción en algunos casos, ésta siendo un recurso natural indispensable para la vida humana, su uso indebido o mal utilizada (desperdiciada) es una atentado para la naturaleza.

Para este estudio, se ha considerado un promedio de 2 GMP (~ 8 lt/min) de agua para el enfriamiento de las empaquetaduras de las bombas de pulpa, donde una parte se va con el proceso y otra (en más cantidad) emigra al efluente de fábrica, causando cierta desviación en la cantidad de agua que tiene que ser tratada en conjunto con otros contaminantes, no objeto de estudio en este caso.

En fin, la cantidad de agua al año que se consume para el grupo de bombas de nuestra planta es de **38'966,400.0 Gal/año** aproximadamente, cuyo cálculo está de acuerdo a la [tabla N° 1.3](#).

CONSUMO DE AGUA

CÓDIGO	EQUIPO	[GPM]	GAL/ Año
81B 13	Bomba princ.del Hidropulper (P-02)	2.00	950,400.0
83 B 11	Bomba del Bel Purge (P-01)	2.00	950,400.0
832 B 10	Bomba Primaria Depuración Bagazo	2.00	950,400.0
832 B 80	Bomba limpiadores terciarios (P-13)	2.00	950,400.0
832 B 20	Bomba Secundaria Bagazo	2.00	950,400.0
83 B 41	Bomba tanque dump chest (P-03)	2.00	950,400.0
83 B 54	Bomba de criba secundaria (P-04)	2.00	950,400.0
83 B 60	Bomba limpiad.primarios uniflow (P-05)	2.00	950,400.0
83 B 61	Bomba limpiad.secund.uniflow (P-06)	2.00	950,400.0
83 B 62	Bomba limpiad.primarios posiflow (P-15)	2.00	950,400.0
83 B 72	Bomba tanque de broke chest (P-22)	2.00	950,400.0
84 B 11	Bomba tanque OCC (P-09)	2.00	950,400.0
84 B 14	Bomba tanque de bagazo (P-12)	2.00	950,400.0
83 B 64	Bomba limp.secund.posiflow (P-16)	2.00	950,400.0
91 B 11	Bomba tanque de máquina (P-14)	2.00	950,400.0
923 B 31	Bomba del couch normal (P-20)	2.00	950,400.0
923 B 32	Bomba del couch rotura (P-21)	2.00	950,400.0
96 B 401	Bomba del UTM break (P-26)	2.00	950,400.0
96 B 402	Bomba del UTM trim (P-27)	2.00	950,400.0
21B17	Bomba del Hidropulper # 2	2.00	950,400.0
21B13-1	Bomba del Hidropulper #1 Kraft	2.00	950,400.0
23B111	Bomba principal dump chest *	2.00	950,400.0
23B241	Bomba tanque de broke *	2.00	950,400.0
23B321-1	Bomba # 1 agua blanca norte (nueva)	2.00	950,400.0
23B322-1	Bomba # 2 agua blanca sur (nueva)	2.00	950,400.0
23B41	Bomba al selectifier	2.00	950,400.0
23B43	Bomba limpiadores primarios posiflow	2.00	950,400.0
23B45	Bomba limpiadores secundario uniflow	2.00	950,400.0
23B47	Bomba limpiadores secundario posiflow	2.00	950,400.0
24B111	Bomba principal desperdicios *	2.00	950,400.0
24B211	Bomba tanque kraft refinación #1 *	2.00	950,400.0
24B212	Bomba tanque kraft refinación #2	2.00	950,400.0
24B31	Bomba tanque mezcla	2.00	950,400.0
23B33	Bomba de regulacion de consistencia	2.00	950,400.0
24B34	Bomba tanque pulpa kraft almacenam.	2.00	950,400.0
23B42	Bomba limpiadores primarios uniflow	2.00	950,400.0
41B111-1	Bomba tanque máquina	2.00	950,400.0
423B31	Bomba del pozo couch # 1	2.00	950,400.0
423B32	Bomba del pozo couch # 2	2.00	950,400.0
41B21	Bomba primaria de máquina	2.00	950,400.0
41B241	Bomba secundaria de máquina	2.00	950,400.0

CONSUMO TOTAL ANUAL (Gal/Año)	38,966,400.0
--------------------------------------	---------------------

Tabla N° 1.3: Consumo de agua al año.

Costos por Mantenimiento.

A más de los derrames de materia prima (pulpa) presentado como fugas en las bombas de proceso, existían consecuencias en otros elementos y componentes mecánicos de los equipos, afectando los costos de mantenimiento por consumo de repuestos e insumos, los cuales es necesario resaltar sus incidencias.

➡ Costo de mano de obra

Uno de los principales recursos que se requiere para intervenir los equipos de bombeo sin duda es el recurso humano, el cual estando bien capacitado y experimentado para esta actividad va a garantizar que los equipos después de su mantenimiento, funcionarán sin problemas.

Por lo general, cuando los equipos de bombeo presentan problemas de fugas incontrolables, es cuando los elementos mecánicos como el bocín o camisa tiene excesivo desgastes, que cualquier cambio de empaques es ineficiente, por lo que se debe programar un mantenimiento mayor de la bomba, para ello es donde como empresa, se gestiona la contratación de mano de obra externa (contratista), para el mantenimiento general del equipo.

De acuerdo a nuestras estadísticas, siendo un valor importante para nuestro control de gasto de mantenimiento, sí amerita hacer el cálculo respectivo anual, el cual se presenta en la [tabla N° 1.4](#), donde se considera el promedio de los dos años anteriores (2001, 2002) al proyecto, donde se tiene un valor aproximado de **11,790.0 USD/Año**.

COSTO POR MANO DE OBRA				
CÓDIGO EQUIPO	EQUIPO	Nº INTERVENCIONES	COSTO	COSTO
		AÑO	INTERVENC./Uni	INTERVENC.
		prom	USD	USD/AÑO
81B 13	Bomba princ.del Hidropulper (P-02)	3	150.00	450.00
83 B 11	Bomba del Bel Purge (P-01)	1	150.00	150.00
832 B 10	Bomba Primaria Depuración Bagazo	2	150.00	300.00
832 B 80	Bomba limpiadores terciarios (P-13)	3	150.00	450.00
832 B 20	Bomba Secundaria Bagazo	1	150.00	150.00
83 B 41	Bomba tanque dump chest (P-03)	1	150.00	150.00
83 B 54	Bomba de criba secundaria (P-04)	2	150.00	300.00
83 B 60	Bomba limpiad.primarios uniflow (P-05)	4	180.00	720.00
83 B 61	Bomba limpiad.secud.uniflow (P-06)	2	120.00	240.00
83 B 62	Bomba limpiad.primarios posiflow (P-15)	4	180.00	720.00
83 B 72	Bomba tanque de broke chest (P-22)	1	150.00	150.00
84 B 11	Bomba tanque OCC (P-09)	4	150.00	600.00
84 B 14	Bomba tanque de bagazo (P-12)	1	150.00	150.00
83 B 64	Bomba limp.secund.posiflow (P-16)	2	150.00	300.00
91 B 11	Bomba tanque de máquina (P-14)	2	150.00	300.00
923 B 31	Bomba del couch normal (P-20)	1	150.00	150.00
923 B 32	Bomba del couch rotura (P-21)	2	150.00	300.00
96 B 401	Bomba del UTM break (P-26)	1	150.00	150.00
96 B 402	Bomba del UTM trim (P-27)	1	150.00	150.00
21B17	Bomba del Hidropulper # 2	1	150.00	150.00
21B13-1	Bomba del Hidropulper #1 Kraft	1	150.00	150.00
23B111	Bomba principal dump chest *	2	150.00	300.00
23B241	Bomba tanque de broke *	2	120.00	240.00
23B321-1	Bomba # 1 agua blanca norte (nueva)	3	120.00	360.00
23B322-1	Bomba # 2 agua blanca sur (nueva)	4	150.00	600.00
23B41	Bomba al selectifier	2	150.00	300.00
23B43	Bomba limpiadores primarios posiflow	3	150.00	450.00
23B45	Bomba limpiadores secundario uniflow	1	120.00	120.00
23B47	Bomba limpiadores secundario posiflow	2	120.00	240.00
24B111	Bomba principal desperdicios *	2	150.00	300.00
24B211	Bomba tanque kraft refinación #1 *	1	150.00	150.00
24B212	Bomba tanque kraft refinación #2	1	150.00	150.00
24B31	Bomba tanque mezcla	2	150.00	300.00
23B33	Bomba de regulacion de consistencia	2	150.00	300.00
24B34	Bomba tanque pulpa kraft almacenam.	1	150.00	150.00
23B42	Bomba limpiadores primarios uniflow	4	150.00	600.00
41B111-1	Bomba tanque máquina	1	150.00	150.00
423B31	Bomba del pozo couch # 1	1	150.00	150.00
423B32	Bomba del pozo couch # 2	1	150.00	150.00
41B21	Bomba primaria de máquina	3	150.00	450.00
41B241	Bomba secundaria de máquina	1	150.00	150.00
			COSTO DE MANO OBRA (USD/Año)	11,790.00

Tabla N° 1.4: Costo de mano de obra contratada

➔ Costo de repuestos

Los elementos mecánicos principales, con los cuales operan los equipos de bombeo son:

- Rodamientos
- Retenedores
- Caja estopera
 - o Prensaestopa
 - o Empaquetadura
- Camisa de desgastes (bocín)
- Impulsor
- Acoples

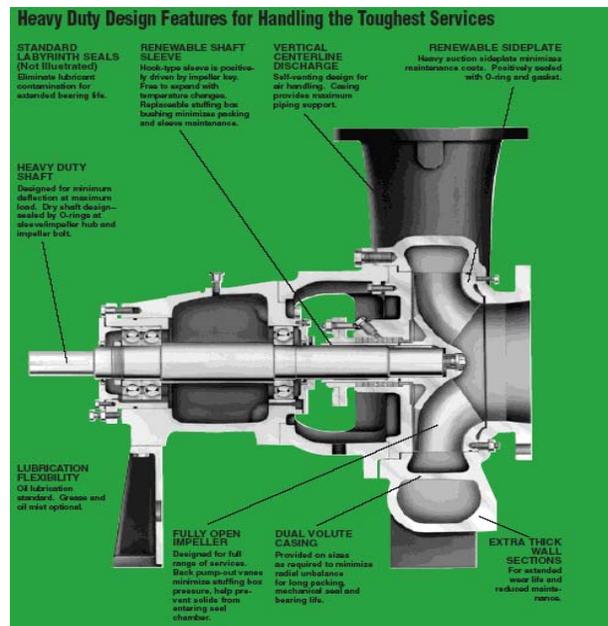


Figura N° 1.5: Elementos de una bomba de proceso de pulpa de papel.

Rodamientos (bearings).- Son los elementos principales de un equipo de bombeo, porque sin ellos sería imposible generar el flujo de pasta para el proceso. Este sistema de rodadura es normalmente limitado a operar para el tiempo de vida para el cual fue construido al ser afectado por una mala lubricación que por las constantes fugas en las bombas es contaminado, debido a estos modos de falla de rodamientos por las frecuentes contaminación de lubricante en nuestro caso, que según estudios realizados son las causas principales para la falla prematura de rodamientos lo que se refleja en sus altos consumos y costo.

Retenedores (oil seals).- Permite mantener un sellado hermético en los equipos de bombeo, además son los que impiden el contacto de los rodamientos con el entorno (ambiente), impidiendo el ingreso de contaminantes provenientes del exterior. De igual manera por las constantes fugas es afectado disminuyendo su vida útil.

Caja estopera.- La cual es como su nombre lo indica la caja que contiene la prensaestopa y las empaquetaduras, por su forma circular se alojan los empaques de sello.

- **Prensaestopa (gland, packed box).**- Está compuesta por lo general de dos anillos circulares partidos, y que por su estructura es uno de los elementos más sencillos para el montaje e instalación como así del mantenimiento de las bombas, pero con limitantes que hoy en día son muy predominante para una buena operación de las mismas, se refiere a las exigencias ambientales, ya que este sistema de sellado no permite mantener permanentemente un sellado eficaz del fluido que maneja las bombas, fluido que al liberarse al medio ambiente se lo considera como un impacto ambiental significativo, según las normas ambientales. [Ver figura 1.6a](#)
- **Empaquetadura (packing).**- En General es la parte esencial en el sellado de equipos, el fin es proporcionar un cierre que reduzca la cantidad de líquido que se pierde por fugas entre la parte de movimiento y la fija. Normalmente y dependiendo del fluido a manejar, ésta no están diseñadas para crear una total estanqueidad, ya que las mismas fugas sirven para lubricar las partes móviles y fijas en contacto. Están formadas por varios anillos insertados en la caja de empaquetaduras, ver [figura N° 1.6b](#), las cuales son presionadas por la prensaestopa, mediante pernos ajustables al plato posterior de la bomba. Además, la

caja estopera debe contener orificios (entrada-salida) para el enfriamiento de la empaquetadura como se visualiza en la figura N° 1.6b.

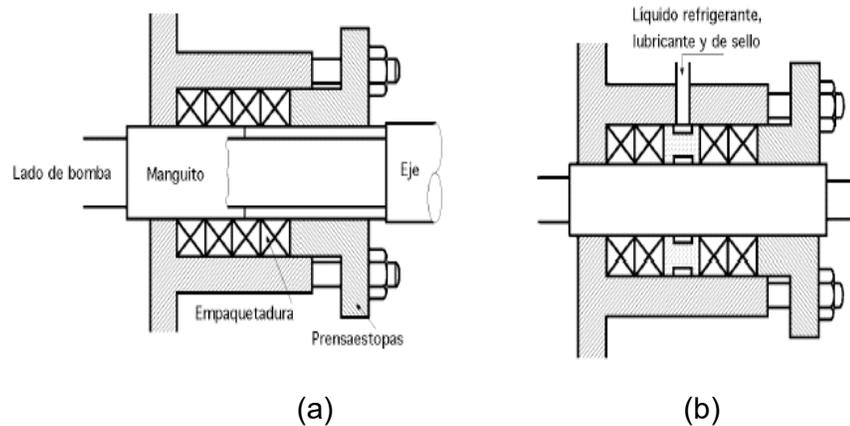


Figura N° 1.6: Esquema típico de sello con empaquetadura.

Camisas (shaft sleeve).- Es conocido también como manguito y es el elemento de sacrificio de la bomba, también para evitar el desgaste en el eje; está ubicado entre la caja estopera y el eje de la bomba, separa la caja estopera por cordones (anillos) de empaquetaduras, y que por la constante fricción con la empaquetadura su superficie es desgastada, lo que representa una incidencia importante en los costos de mantenimiento (ver mas información en apéndice I).

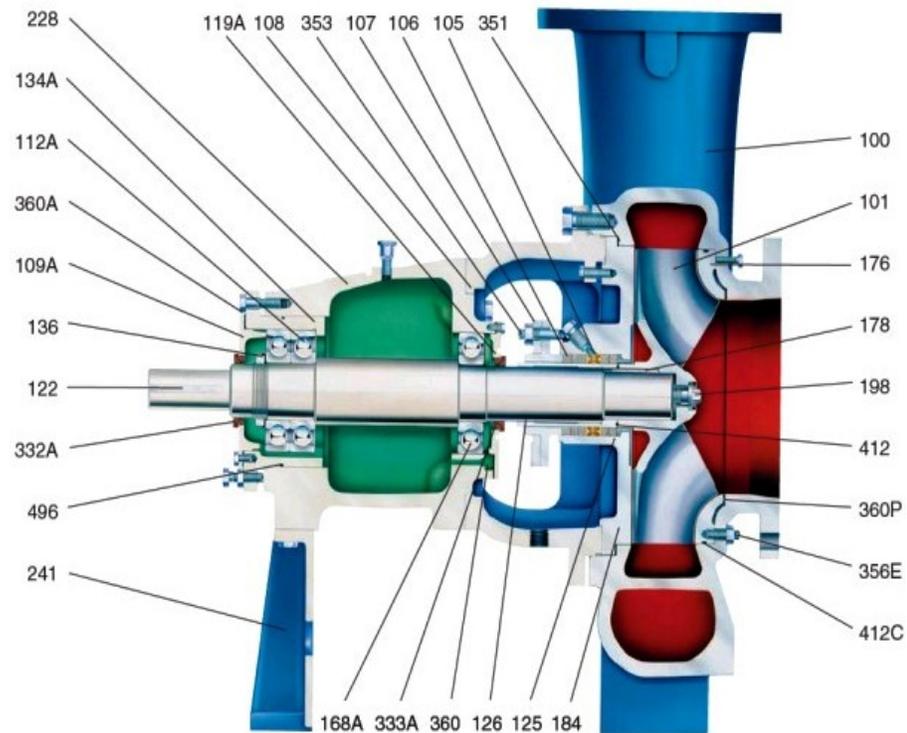


Figura N° 1.7: Partes de una bomba.

Impulsor (impeller).- Es el elemento primordial de los equipos de bombeo ya que si el, no se podría tener el flujo suficiente para el proceso. Este por el constante manipuleo de la bomba y una mala reinstalación en la bomba puede rozar con la superficie de la voluta o la succión de la bomba desgastándolo de manera continua, y causando un problema en la operación de la bomba. Éste casi ha sido muy común en Papelera Nacional por los incrementos o alta frecuencia de desmontaje para el mantenimiento, principalmente en el cambio de las camisas.

Número de Item	Nombre de las Partes
100	Carcasa de Bomba
101	Rodete Impulsor
105	Anillo linterna
106	Empaquetadura de la caja del Prensaestopa
107	Prensaestopas
108	Adaptador del bastidor
109A	Tapa del rodamiento lado acople
112A	Rodamiento de empuje lado acople
119A	Tapa del rodamiento interior
122	Eje
125	Casquillo de la boca de la caja del prensaestopa
126	Manguito del eje
134A	Alojamiento de rodamiento de empuje
136	Tuerca de seguridad p/rodamiento con arandela freno
168A	Rodamiento radial
174	Embocadura de succión
176	Placa lateral de succión
178	Chaveta para el rodete impulsor
184	Tapa de caja de prensaestopas
198	Tornillo de fijación del impulsor
228	Bastidor de rodamientos
241	Pata del bastidor (Base)
332A	Reten de aceite lado acople
333A	Reten de aceite lado interior
351	Junta de la tapa de la carcasa
353	Esparragos del prensaestopa
356E	Esparragos del plato de succión
360	Junta, tapa del rodamiento interior
360A	Junta, tapa del rodamiento lado acople
360P	Junta entre plato de succión y carcasa
412	Anillo tórico, Manguito del eje
412B	Anillo tórico, Tornillo del rodete impulsor
412C	Anillo tórico, Plato lateral de succión
496	Anillo tórico del alojamiento del rodamiento de empuje

Tabla N° 1.5. Lista de partes de una bomba.

Acoples (couple).- También es un elemento importante que permite acoplar a la parte motriz del sistema de bombeo. Este puede sufrir efectos secundarios con el tiempo al ocurrir inconvenientes con los otros elementos mecánicos especialmente con los rodamientos. También puede sufrir efectos primarios por un mal montaje o por una mala lubricación en caso de existir.

En la siguiente [tabla N° 1.6](#), se resume los costos por repuestos principales antes del Proyecto. Como se observa en la misma tabla que no se han considerado los demás elementos de una bomba, por no aportar mucho en los cálculos debido a su baja frecuencia de cambio. Éste valor asciende a los **36,787.02 USD/Año**.

Además, de los costos de mantenimiento enunciados, hay otros que están relacionados en el proceso productivo de fabricación del Papel, que vale la pena considerarlos:

COSTOS DE REPUESTOS					
CÓDIGO	EQUIPO	RODAMIENTOS USD/AÑO	CAMISA USD/AÑO	EMPAQUETADURA USD/AÑO	RETENEDORES USD/AÑO
81B 13	Bomba princ.del Hidropulper (P-02)	190.07	254.00	227.25	320.17
83 B 11	Bomba del Bel Purge (P-01)	190.07	254.00	45.45	320.17
832 B 10	Bomba Primaria Depuración Bagazo	190.07	254.00	136.35	320.17
832 B 80	Bomba limpiadores terciarios (P-13)	190.07	254.00	227.25	215.84
832 B 20	Bomba Secundaria Bagazo	190.07	254.00	45.45	320.17
83 B 41	Bomba tanque dump chest (P-03)	180.00	254.00	90.90	320.17
83 B 54	Bomba de criba secundaria (P-04)	190.07	254.00	136.35	320.17
83 B 60	Bomba limpiad.primarios uniflow (P-05)	437.64	458.13	318.15	628.72
83 B 61	Bomba limpiad.secud.uniflow (P-06)	89.89	81.05	136.35	215.84
83 B 62	Bomba limpiad.primarios posiflow (P-15)	437.64	458.13	318.15	628.72
83 B 72	Bomba tanque de broke chest (P-22)	190.07	254.00	90.90	320.17
84 B 11	Bomba tanque OCC (P-09)	190.07	254.00	363.60	320.17
84 B 14	Bomba tanque de bagazo (P-12)	190.07	254.00	45.45	320.17
83 B 64	Bomba limp.secund.posiflow (P-16)	190.07	254.00	136.35	320.17
91 B 11	Bomba tanque de máquina (P-14)	190.07	254.00	181.80	320.17
923 B 31	Bomba del couch normal (P-20)	190.07	254.00	90.90	320.17
923 B 32	Bomba del couch rotura (P-21)	190.07	254.00	136.35	320.17
96 B 401	Bomba del UTM break (P-26)	190.07	254.00	90.90	320.17
96 B 402	Bomba del UTM trim (P-27)	190.07	254.00	45.45	320.17
21B17	Bomba del Hidropulper # 2	719.66	501.20	90.90	77.99
21B13-1	Bomba del Hidropulper #1 Kraft	190.07	254.00	90.90	320.17
23B111	Bomba principal dump chest *	73.12	103.42	181.80	320.17
23B241	Bomba tanque de broke *	151.99	81.50	181.80	3.98
23B321-1	Bomba # 1 agua blanca norte (nueva)	89.89	81.05	227.25	327.35
23B322-1	Bomba # 2 agua blanca sur (nueva)	180.00	196.85	318.15	277.09
23B41	Bomba al selectifier	427.96	254.00	181.80	320.17
23B43	Bomba limpiadores primarios posiflow	423.08	329.65	181.80	372.99
23B45	Bomba limpiadores secundario uniflow	89.89	81.05	45.45	327.35
23B47	Bomba limpiadores secundario posiflow	89.89	81.05	181.80	327.35
24B111	Bomba principal desperdicios *	253.53	136.99	181.80	11.54
24B211	Bomba tanque kraft refinación #1 *	253.53	136.99	45.45	11.54
24B212	Bomba tanque kraft refinación #2	190.07	254.00	45.45	320.17
24B31	Bomba tanque mezcla	190.07	254.00	136.35	320.17
23B33	Bomba de regulacion de consistencia	190.07	254.00	181.80	320.17
24B34	Bomba tanque pulpa kraft almacenam.	253.53	254.00	90.90	320.17
23B42	Bomba limpiadores primarios uniflow	262.03	254.00	318.15	320.17
41B111-1	Bomba tanque máquina	190.07	254.00	90.90	11.54
423B31	Bomba del pozo couch # 1	190.07	254.00	90.90	320.17
423B32	Bomba del pozo couch # 2	253.53	254.00	90.90	11.54
41B21	Bomba primaria de máquina	190.07	254.00	227.25	320.17
41B241	Bomba secundaria de máquina	190.07	254.00	90.90	320.17
SUB-TOTAL (USD)		9,038.41	9,839.06	6,135.75	11,773.80
		TOTAL REPUESTOS(USD/AÑO)			36,787.02

Tabla N° 1.6: Costos de repuestos antes del Proyecto

➔ **Consumo de energía.**- Según las investigaciones realizadas, se ha comprobado que un sello balanceado consume 1/6 de energía eléctrica de la que consume un sello con empaquetadura. El rozamiento de una empaquetadura con el eje o camisa (manga) de una bomba es similar a conducir un automóvil con el freno de emergencia accionado, para ello por cuestiones de información general se calcula cuanto representa estos consumo de energía al costo de mantenimiento de nuestra planta, que corresponde solo a los equipos de bombeo del caso.

Por cuestiones de cálculo y según estudios realizados la energía perdida por el uso de empaquetadura es de aproximadamente 1.6149 HP (1.2 Kw) y usando la siguiente fórmula (ver más información en apéndice D):

$$\text{Costo Cons Ener} = E_p (\text{Kw}) \times \text{Costo Ener (usd/KW-hr)} \times 24 \times 330$$

Para el grupo de bombas consideradas el costo por consumo de energía es aproximadamente de **17,603.8 USD/año**, como se muestra en la [tabla N° 1.7](#).

CONSUMO DE ENERGÍA POR USO DE EMPAQUETADURA

CÓDIGO EQUIPO	EQUIPO	CONSUMO ENERGIA Real KW-H/mes	COSTO ENERGIA ELEC USD/KW-H	COSTO ANUAL USD/AÑO	CONSUMO ELEC. x EMPAQUE USD/AÑO
81B 13	Bomba princ.del Hidropulper (P-02)	33,936.45	0.045	18,325.683	429.361
83 B 11	Bomba del Bel Purge (P-01)	2,418.46	0.045	1,305.968	429.361
832 B 10	Bomba Primaria Depuración Bagazo	21,064.00	0.045	11,374.560	429.361
832 B 80	Bomba limpiadores terciarios (P-13)	5,266.00	0.045	2,843.640	429.361
832 B 20	Bomba Secundaria Bagazo	5,266.00	0.045	2,843.640	429.361
83 B 41	Bomba tanque dump chest (P-03)	31,986.08	0.045	17,272.483	429.361
83 B 54	Bomba de criba secundaria (P-04)	10,922.08	0.045	5,897.923	429.361
83 B 60	Bomba limpiad.primarios uniflow (P-05)	56,950.82	0.045	30,753.443	429.361
83 B 61	Bomba limpiad.secud.uniflow (P-06)	9,751.85	0.045	5,265.999	429.361
83 B 62	Bomba limpiad.primarios posiflow (P-15)	102,301.18	0.045	55,242.637	429.361
83 B 72	Bomba tanque de broke chest (P-22)	11,312.15	0.045	6,108.561	429.361
84 B 11	Bomba tanque OCC (P-09)	23,404.45	0.045	12,638.403	429.361
84 B 14	Bomba tanque de bagazo (P-12)	17,163.26	0.045	9,268.160	429.361
83 B 64	Bomba limp.secund.posiflow (P-16)	22,234.22	0.045	12,006.479	429.361
91 B 11	Bomba tanque de máquina (P-14)	29,645.63	0.045	16,008.640	429.361
923 B 31	Bomba del couch normal (P-20)	9,751.85	0.045	5,265.999	429.361
923 B 32	Bomba del couch rotura (P-21)	7,801.48	0.045	4,212.799	429.361
96 B 401	Bomba del UTM break (P-26)	5,461.04	0.045	2,948.962	429.361
96 B 402	Bomba del UTM trim (P-27)	11,702.22	0.045	6,319.199	429.361
21B17	Bomba del Hidropulper # 2	55,384.00	0.045	29,907.360	429.361
21B13-1	Bomba del Hidropulper #1 Kraft	22,549.20	0.045	12,176.568	429.361
23B111	Bomba principal dump chest *	39,560.00	0.045	21,362.400	429.361
23B241	Bomba tanque de broke *	9,890.00	0.045	5,340.600	429.361
23B321-1	Bomba # 1 agua blanca norte (nueva)	12,659.20	0.045	6,835.968	429.361
23B322-1	Bomba # 2 agua blanca sur (nueva)	47,472.00	0.045	25,634.880	429.361
23B41	Bomba al selectifier	22,153.60	0.045	11,962.944	429.361
23B43	Bomba limpiadores primarios posiflow	35,604.00	0.045	19,226.160	429.361
23B45	Bomba limpiadores secundario uniflow	9,494.40	0.045	5,126.976	429.361
23B47	Bomba limpiadores secundario posiflow	6,725.20	0.045	3,631.608	429.361
24B111	Bomba principal desperdicios *	7,397.72	0.045	3,994.769	429.361
24B211	Bomba tanque kraft refinación #1 *	7,120.80	0.045	3,845.232	429.361
24B212	Bomba tanque kraft refinación #2	7,912.00	0.045	4,272.480	429.361
24B31	Bomba tanque mezcla	8,703.20	0.045	4,699.728	429.361
23B33	Bomba de regulacion de consistencia	11,274.60	0.045	6,088.284	429.361
24B34	Bomba tanque pulpa kraft almacenam.	5,538.40	0.045	2,990.736	429.361
23B42	Bomba limpiadores primarios uniflow	29,670.00	0.045	16,021.800	429.361
41B111	Bomba principal tanque de máquina *	7,753.76	0.045	4,187.030	429.361
423B31	Bomba del pozo couch # 1	2,531.84	0.045	1,367.194	429.361
423B32	Bomba del pozo couch # 2	6,329.60	0.045	3,417.984	429.361
41B21	Bomba primaria de máquina	45,889.60	0.045	24,780.384	429.361
41B241	Bomba secundaria de máquina	13,846.00	0.045	7,476.840	429.361

TOTAL (USD) 17,603.8

Tabla N° 1.7: Costos de energía por uso de empaquetadura

➔ **Contaminación ambiental.**- Debido a las exigencias ambientales está restringido las fugas de contaminantes que pueden causar impactos significativos a los afluentes como ríos y corrientes. Además, estos tratamientos son muy costosos de acuerdo a la actividad que desarrolla una empresa industrial, para ello antes de comentar un poco más sobre la contaminación ambiental es necesario conocer su definición de acuerdo a las investigaciones realizadas por expertos del tema.

“La contaminación ambiental es la incorporación a los recursos naturales (aire, agua y suelo), de sustancias nocivas y molestas, en calidad y cantidad que pueden provocar una daño sanitario, económico, ecológico, social y estético. Esta contaminación no es exclusiva de la acción del hombre, si bien es una de sus principales causas.”

Con respecto a nuestro caso del proceso de elaboración de la pulpa de papel, para la fabricación del papel kraft presenta un alto grado de contaminación al medio ambiente, y como medida para mitigar esta contaminación a más del planteamiento de reducir los costos de mantenimiento y derrames, se propone estas mejoras en los sistemas de bombeo de nuestra planta, que no se lo va a tratar

con mucha profundidad, porque es un tema muy amplio, pero sí dejarlo como una iniciativa para el desarrollo de un proyecto de tesis de grado para el futuro, pero en fin con estas mejoras en los sistemas de bombeo, se quiere aportar a la mitigación y prevención de la contaminación ambiental.

1.3. Estadísticas de paradas no programadas y evaluación de derrames.

Como método de análisis de la mejora propuesta, se debe considerar una forma para cuantificar y evaluar las mismas, por ello el método estadístico ayudar a tener un panorama global de los hechos. Como conocimiento general, uno de los tipos de paradas con los que se encuentran en una planta con operación continúa, como es el caso de papelera nacional, son las no programadas y que se la define a continuación:

Estadísticas de paradas no programadas.- Las paradas por mantenimiento de equipos, siempre han sido cuestionadas por los altos directivos de las empresas del país y del mundo e incluso muchas veces es mal visto al personal y la gestión de mantenimiento, pero esta actividad es necesario para la conservación y aumentar la

vida útil de los equipos, siempre y cuando se justifique las acciones tomadas y los beneficios que se tiene al administrarlo de manera eficiente.

En Papelera nacional, como todas las papeleras del mundo, se realizan gestiones de paradas mensuales o de acuerdo a la disponibilidad de máquina por el personal de producción, éstas paradas son:

- ▶ **Paradas programadas-** Son las que son planificadas anualmente para llevarse a cabo con una frecuencia mensual o bimensual dependiendo de la producción, cuyo tiempo en horas se los presupuesta de acuerdo a datos históricos.

- ▶ **Paradas imprevistas.-** Son las que por algún motivo sea mecánico, eléctrico o electrónico e instrumentación se llega a parar la maquinaria dejando de producir papel; este tiempo también en horas es impredecible de un punto de vista en una planta sin un mantenimiento predictivo o de inspecciones periódicas de los equipos necesarios para la producción.

Las estadísticas de las paradas de máquina por mantenimiento, que se muestra en la [tabla N° 1.8](#), donde se encuentra tiempos

presupuestados programados, tiempos por paradas imprevistas por mantenimiento y tiempos no programados (imprevistos) que originan únicamente por falla mecánica, que ocurrió en el año 1999 hasta el año 2005.

ESTADISTICAS DE PARADAS EN LOS MOLINOS DE PAPEL			
AÑO	PROGRAMADAS (HRS)	IMPREVISTAS (HRS)	IMPREV. MANT. MECANICAS (HRS)
1999	277.94	468.47	137.94
2000	354.75	557.34	119.69
2001	248.95	402.94	97.42
2002	328.94	640.51	199.98
2003	336.23	692.22	200.39
2004	324.59	586.24	154.66
2005	310.35	599.71	192.63

Tabla N° 1.8: Estadísticas de paradas por mantenimiento

- **Paradas imprevista por mantenimiento mecánico.-** Son las que se originan únicamente por la parte mecánica de la planta, siendo estas fallas por varios motivos tanto de los equipos rotativos como de los estacionarios y otros que tiene injerencia directa con el proceso productivo (tuberías, válvulas, y otros). Entre estas fallas mecánicas están las ocasionadas por las fugas debidos al daño del sistema de sellado de las bombas de pulpa de papel y que para nuestro propósito es fundamental considerarlas.



Figura N° 1.8. Estadísticas de tiempos por paradas de máquina

Como es obvio, el tiempo por parada de máquina por mantenimiento mecánico, debe ser menor que el tiempo total de mantenimiento.

La **figura N° 1.8**, muestra la tendencia de tiempo no programados por mantenimiento, para nuestro caso se puede considerar que el 20% de estos tiempos se atribuyen directamente a los equipos propios del proyecto "*Mejoras en los equipos de bombeo de pulpa de papel*" generando resultados positivos en la productividad, en el mantenimiento y en la disminución de derrames de pulpa de papel.

Evaluación de Derrames.- Para el desarrollo y la justificación del proyecto se logra evaluar el derrame existente en los equipos que intervienen en el proceso de elaboración de la pulpa de papel del molino 2, con los siguientes resultados, ver [tabla N° 1.9](#), tomando estos equipos como una muestra estadística, donde se puede calcular el valor promedio y asumirlo para los cálculos globales de todo el proyecto.

Entonces, de la tabla mencionada se puede estimar un promedio de galones de pulpa derramado en el molino 2 de **0.76 GPM**, en total son 41 unidades de bombeo donde se ejecuta el proyecto para el *“Mejoramiento de los sistemas de bombeo de pulpa de papel”*.

Es necesario aclarar que el promedio mencionado es la mezcla de agua y pulpa de madera, para cuantificar cuanto de materia prima (pulpa seca al aire) se están desperdiciando y emigrando al efluente de fábrica se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{BDTMPD}^* = \text{GMP} \times \%C \times 0.545 \quad \text{ec. 1.1}$$

Donde;

BDTMPD: Toneladas métricas de pulpa seca al aire perdidas al día.

GMP: Galones promedios de mezcla perdidos

%C: Porcentaje de consistencia

* Tomado del Manual de TAPPI, considerado en bibliografía.

El valor de los GPM es conocido de los derrames, y el valor de la consistencia (%C) se lo obtiene experimentalmente por medio de los siguientes pasos.

- ◆ Se muestrea fuga en bomba
- ◆ Se deja secar por 15 min. pulpa en estufa
- ◆ Se pesa papel filtro
- ◆ Se filtra muestra de 100 ml de pulpa; repetir tres veces
- ◆ Se pesa papel filtro con pulpa seca

Siguiendo estos pasos para calcular la pulpa seca al aire para una bomba tomada al azar el resultado dio 0.54%, con éste dato se determina los BDTMPD, según ec 1.1.

Los resultados totales se muestra en la [tabla N° 1.10](#).

EVALUACIÓN DE DERRAME DE PULPA		
CÓDIGO	EQUIPO	PÉRDIDA DE PULPA [GPM]
81B 13	Bomba princ. del Hidropulper (P-02)	0.58
83 B 11	Bomba del Bel Purge (P-01)	0.57
832 B 10	Bomba Primaria Depuración Bagazo	0.76
832 B 80	Bomba limpiadores terciarios (P-13)	0.76
832 B 20	Bomba Secundaria Bagazo	0.76
83 B 41	Bomba tanque dump chest (P-03)	0.74
83 B 54	Bomba de criba secundaria (P-04)	0.05
83 B 60	Bomba limpiad.primarios uniflow (P-05)	0.03
83 B 61	Bomba limpiad.secud.uniflow (P-06)	0.76
83 B 62	Bomba limpiad.primarios posiflow (P-15)	0.79
83 B 72	Bomba tanque de broke chest (P-22)	1.34
84 B 11	Bomba tanque OCC (P-09)	2.23
84 B 14	Bomba tanque de bagazo (P-12)	0.76
83 B 64	Bomba limp.secund.posiflow (P-16)	0.83
91 B 11	Bomba tanque de máquina (P-14)	1.20
923 B 31	Bomba principal couch pit-rotura (P-20)	0.04
923 B 32	Bomba couch pit-normal (P-21)	0.76
96 B 402	Bomba del UTM trim (P-27)	0.76
VALOR PROMEDIO (GMP)		0.76

Tabla N° 1.9. Evaluación de derrame año 2002

CÁLCULOS DE PERDIDAS POR FUGA DE PULPA	
GALONES DE PULPA PERDIDOS EN BOMBAS DE PASTA:	
GPM Promedio Perdidos :	0.76 GPM
Número de Bombas :	41
Días de producción al año:	330 DIAS/AÑO
TONELADAS METRICAS DE PULPA SECAS AL AIRE PERDIDAS AL DÍA	
Consistencia de Pulpa Perdida	0.540 %
BDTMPD*= GPM x %C x 0,0545	0.0224 TM/DÍA
BDTMPD x Cantidad de Bombas del Proyecto:	0.92 TM/DIA
COSTO DE LAS PERDIDAS AL DÍA	
Costo de la Tonelada de Pulpa	163.00 USD/TM
Costo Total (USD)	149.57 USD/DÍA
PERDIDA AL AÑO (USD/AÑO)	302.81 TM/AÑO 49,357.97 USD/AÑO
ERROR: 20%	
PÉRDIDAS TOTAL NETA (AÑO)	242.25 TM/AÑO 39,486.37 USD/AÑO

Tabla N° 1.10: Cálculo de pérdida pulpa de papel.

A más de éstas pérdidas que se han calculado y estimado por derrame de pulpa al efluente de fábrica, y que son la causa principal del problema existente en Papelera Nacional, también se consideran como pérdidas los costos de mantenimiento que son debido a ésta causa.

1.4. Definición del problema

La productividad permite aumentar la rentabilidad de una empresa o negocio lo que hace tener mayores ganancias con el simple hecho de ejecutar controles en los procesos productivos, disminuyendo los costos y desperdicios, métodos que hoy en día ya no son secretos, sino técnicas a la mano de las empresas competitivas.

Las bombas centrifugas que son prácticamente el corazón de cada paso en el proceso productivo de papel y que influyen en los niveles de productividad deseados por la compañía de acuerdo a los estándares internacionales, no pueden dejar de operar, pero por usar sistemas tradicionales de sellado no le permiten operar continuamente, lo que implica, detener las unidades de producción para el mantenimiento correctivo, lo cual no es adecuado e inusual en una planta papelera, tal es el caso de las siguientes bombas de preparación de pulpa de los molinos 1 y 2, [ver figuras a continuación](#), que presentaban constantes daños en los elementos de sellados, causando principalmente derrames de pulpa, contaminado así el sistema de efluente de fábrica y a la vez elevar los costos por pérdidas de fibra la cual es necesaria para la elaboración de pulpa en la producción de papel. Además, estos derrames afectan a los niveles de productividad de la empresa, siendo un parámetro muy importante

de medición de la competitividad de la compañía. Adicional a ello una de las formas de medir la gestión de mantenimiento es a través de índices, entre los cuales se va a considerar la **disponibilidad, confiabilidad, tiempo medio entre reparación (TMER)** y mencionar algo de la **mantenibilidad** como un índice cualitativo no enfatizado mucho en nuestro caso. Estos índices dan una clara idea o un mapeo de cuan bueno o mala es la gestión de mantenimiento en cualquier planta industrial, que al no controlar se convierten en un problema en la rentabilidad de una empresa, y la idea en esta tesis es poder cuantificar la mejora de los mismos con el proyecto implementado.

En la [figura N° 1.9](#), se observa la bomba del Dump Chest P03, ubicada en el área de preparación de pasta del molino 2, donde se muestra el derrame de pulpa al fluente de fábrica. Además, como es notorio visualmente causa una mala presentación en sitio que es perjudicial para una planta que está rumbo a la certificación del sistema de la calidad de medio ambiente ISO 14000.



Figura N° 1.9: Bomba del dump chest P03, molino 2.

La bomba de los Limpiadores Primarios Posiflow P15, [figura N° 1.10](#), es indispensable para la elaboración de pulpa de papel, que en caso de algún problema causa una parada imprevista de la máquina. Además, se visualiza estado de limpieza del piso no favorable para el trabajo en condición de una producción más limpia.



Figura N° 1.10: Bomba limpiadores primarios posiflow P15, molino 2.

Se tiene otra bomba de éste molino 2, [figura N° 1.11](#), que presentaba problemas fuga por mal sellado y contaminación al área, es el caso de la bomba de los Limpiadores Secundarios Uniflow P06, que no siendo tan indispensable para la elaboración de pulpa de papel (me refiero que su parada no produce parada imprevista por un tiempo), pero sí problemas de contaminación del efluente y pérdidas de fibra que repercute en la productividad del área.



Figura N° 1.11: Bomba limpiadores secundarios uniflow P06, molino 2.

La siguiente bomba, es un ejemplo claro en los casos más críticos de las pérdidas que provoca una fuga de pulpa por daño en la empaquetadura, bocines y contaminación del lubricante en las bombas, impidiendo trabajar continuamente la unidad, por intervenir la unidad imprevistamente, lo que afecta directamente a los niveles de productividad, contaminación del efluente y mal aspecto de presentación del área. Ver [figuras N° 1.12 y N° 1.13](#). Éste problema ocurrió en La Bomba Tanque de Mezcla P14A del molino 2. En la [figura N° 1.13](#), se visualiza la realidad del problema ocasionado por fugas de pulpa en las bombas de proceso de elaboración de pulpa en Papelera Nacional.



Figura N° 1.12: Bomba tanque de mezcla P14-A, molino 2.



Figura N° 1.13: Bomba tanque de mezcla P14-A, molino 2.

En el molino 1, de igual manera se tiene bombas que presentan problemas alarmantes de fugas y contaminación.

La bomba Secundaria de Máquina del molino 1, [figura N° 1.14](#), usada para bombear pulpa desde el tanque de rechazo de los limpiadores primarios hacia los limpiadores secundarios de máquina y de igual manera con fugas de pulpa por la prensaestopas, por mal sellado y desgastes de camisas, dando como resultado un alto índice de frecuencia por intervenciones al año.



Figura N° 1.14: Bomba secundaria de máquina, molino 1.

Se observa también la bomba del Tanque de Mezcla del molino 1, [figura N° 1.15](#), donde se aprecia el estado externo de la unidad en condiciones anormales de operación por las constantes fugas de pulpa.



Figura N° 1.15: Bomba tanque de mezcla, molino 1.

La bomba de los Limpiadores Primarios Uniflow del molino 1, es otra que muestra problemas notorios de fugas y contaminación. Como se observa en la [figura N° 1.16](#).



Figura N° 1.16: Bomba limpiadores primarios uniflow, molino 1.

La idea con este proyecto, es poder atacar a estos problemas de pérdidas de pulpa, costos de mantenimiento y costos de producción, que se calculará en el desarrollo de esta tesis.

Índices de Mantenimiento.

Como se había comentado anteriormente, la mejor forma de cuantificar el mantenimiento es, a través de índices, entre ellos los más conocidos son:

La Disponibilidad.-

Es un parámetro de medición, de cuan disponible se encuentra el equipo para operar, ósea es un índice de su desempeño, el cual se lo abarcará con más detalle en el capítulo 3. Pero haciendo una evaluación previa, antes del proyecto de mejora, se tenían valores del 99.82 % en promedio, y la idea con la mejora, es llegar a tener valores muy por encima de estos, ver [figura N° 3.1](#).

Tiempo Medio Entre Reparación (TMER).-

Los equipos de bombeo, como todo equipo mecánico, están sujetos a deterioros por desgaste o fatiga del material, pero su vida útil también depende del buen o mal mantenimiento dado. *El tiempo medio entre reparación (M=mean, T=time; B=between; R=reparation), es un*

indicador que mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupciones dentro del período considerado; este constituye un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema. El Tiempo Promedio para Fallar también es llamado “Tiempo Promedio Operativo” o “Tiempo Promedio hasta la Falla”. Es uno de los índice que mide la efectividad del mantenimiento, del mismo depende la disponibilidad del equipo, donde si este es muy alto, se tiene una muy buena disponibilidad de los equipos, y a la vez bajos costos de mantenimiento y menos pérdidas de producción.

El tiempo medio entre reparaciones (TMER) de las bombas de pulpa de papel antes del proyecto, en nuestro caso está dada en la siguiente [tabla N° 1.11.](#), el cual será uno de los índices comparativos del caso, para evaluar la mejora obtenida con los cambios realizados.

TIEMPO MEDIO ENTRE REPARACION (TMER)		
CÓDIGO	EQUIPO	TMER MES
81B 13	Bomba princ.del Hidropulper (P-02)	7.50
83 B 11	Bomba del Bel Purge (P-01)	6.00
832 B 10	Bomba Primaria Depuración Bagazo	9.00
832 B 80	Bomba limpiadores terciarios (P-13)	5.00
832 B 20	Bomba Secundaria Bagazo	6.00
83 B 41	Bomba tanque dump chest (P-03)	12.00
83 B 54	Bomba de criba secundaria (P-04)	2.00
83 B 60	Bomba limpiad.primarios uniflow (P-05)	3.50
83 B 61	Bomba limpiad.secud.uniflow (P-06)	9.00
83 B 62	Bomba limpiad.primarios posiflow (P-15)	3.50
83 B 72	Bomba tanque de broke chest (P-22)	3.00
84 B 11	Bomba tanque OCC (P-09)	3.00
84 B 14	Bomba tanque de bagazo (P-12)	6.00
83 B 64	Bomba limp.secund.posiflow (P-16)	9.00
91 B 11	Bomba tanque de máquina (P-14)	6.00
923 B 31	Bomba del couch normal (P-20)	12.00
923 B 32	Bomba del couch rotura (P-21)	9.00
96 B 401	Bomba del UTM break (P-26)	12.00
96 B 402	Bomba del UTM trim (P-27)	6.00
21B17	Bomba del Hidropulper # 2	12.00
21B13-1	Bomba del Hidropulper #1 Kraft	12.00
23B111	Bomba principal dump chest *	8.00
23B241	Bomba tanque de broke *	8.00
23B321-1	Bomba # 1 agua blanca norte (nueva)	7.50
23B322-1	Bomba # 2 agua blanca sur (nueva)	3.50
23B41	Bomba al selectifier	8.00
23B43	Bomba limpiadores primarios posiflow	6.00
23B45	Bomba limpiadores secundario uniflow	6.00
23B47	Bomba limpiadores secundario posiflow	6.00
24B111	Bomba principal desperdicios *	8.00
24B211	Bomba tanque kraft refinación #1 *	6.00
24B212	Bomba tanque kraft refinación #2	6.00
24B31	Bomba tanque mezcla	9.00
23B33	Bomba de regulacion de consistencia	8.00
24B34	Bomba tanque pulpa kraft almacenam.	3.00
23B42	Bomba limpiadores primarios uniflow	4.20
41B111-1	Bomba tanque máquina	12.00
423B31	Bomba del pozo couch # 1	3.00
423B32	Bomba del pozo couch # 2	12.00
41B21	Bomba primaria de máquina	7.50
41B241	Bomba secundaria de máquina	12.00
TMER (MES)		7.25

Tabla N° 1.11: Tiempo medio entre reparación (TMER)

La Confiabilidad.-

Es la probabilidad de que un equipo cumpla su función para lo cual fue diseñado en el periodo considerado. En nuestro caso los valores iniciales de este índice eran incierto o no medido, pero con los datos que se tienen a disposición se lo cuantifica, obteniendo la [figura N° 1.17](#). Esta grafica por su forma observada presenta muchos errores, pero se puede aproximar que la confiabilidad es del 50% de confianza que los equipos de bombeo cumplan las 8,255.0 horas de operación continua sin interrupciones o fallas, esto se da justamente en el punto de intercepción con la curva de probabilidad de fallo del sistema.

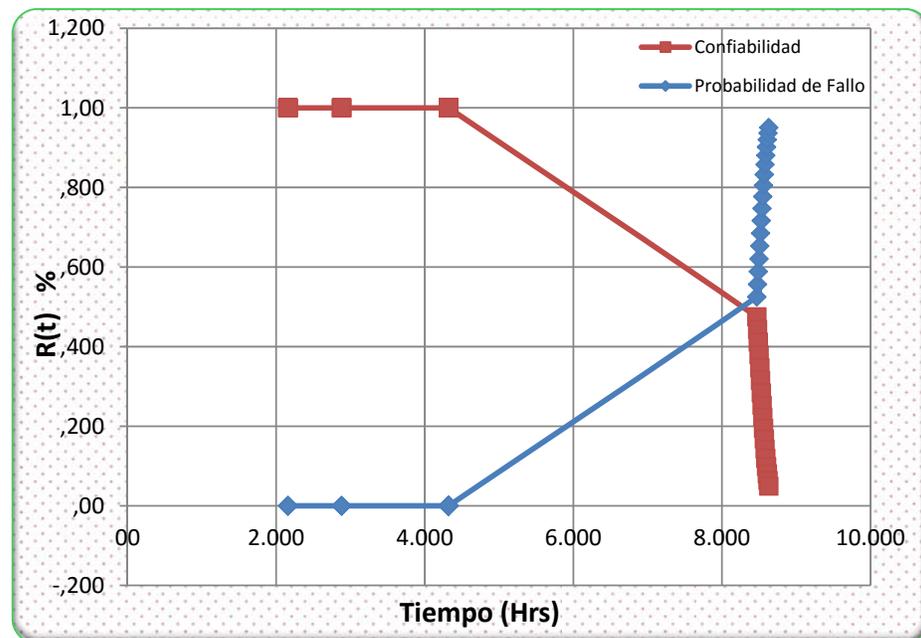


Figura N° 1.17: Confiabilidad de equipos de bombeo antes del proyecto.

La Mantenibilidad.-

Es un índice de mantenimiento muy nombrado pero poco cuantificado, normalmente tiene que ver con la duración del mantenimiento para la recuperación del activo o equipo para nuevamente entrar a operar. Este índice porcentual, depende mucho del diseño de la máquina o de los elementos que la componen. Para nuestro caso, es calculada cualitativamente en el capítulo 3.

RESUMEN DE COSTOS DE PRODUCCION E ÍNDICES DE MANTENIMIENTO AL INICIO

COSTOS ECONÓMICOS	
DESCRIPCION DE LOS COSTOS	COSTO (USD /AÑO)
PÉRDIDA DE PULPA DE PAPEL (Materia prima)	39,486.37
COSTOS PARADA DE PRODUCCIÓN POR FALLAS	38,800.00
MANO DE OBRA	11,790.00
REPUESTOS DE BOMBAS	36,787.02
POR CONSUMO DE ENERGÍA	17,603.78
AFECTACIONES AMBIENTALES	
CONSUMO DE AGUA (GPA)	38,966,400.0
CONTAMINACION AMBIENTAL	CRITICO
ASPECTO FISICO DEL ÁREA	MALA
ÍNDICE DE MANTENIMIENTO	
TMER (MESES)	7.25
DISPONIBILIDAD (%)	99.82
CONFIABILIDAD (%)	ND
MANTENIBILIDAD	BUENA
COSTOS PROMEDIOS ANUALES	144,467.18

Tabla N° 1.12: Resumen de costos e índices de mantenimiento

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.

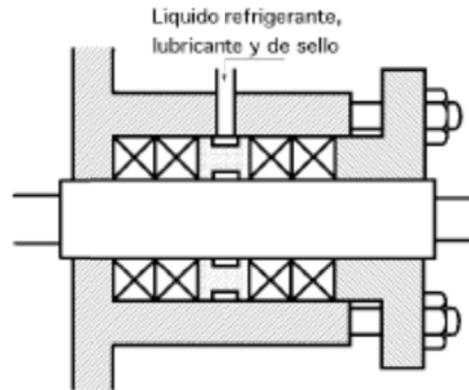


Figura N° 2.1; Sello por empaquetadura.

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/cm²,

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

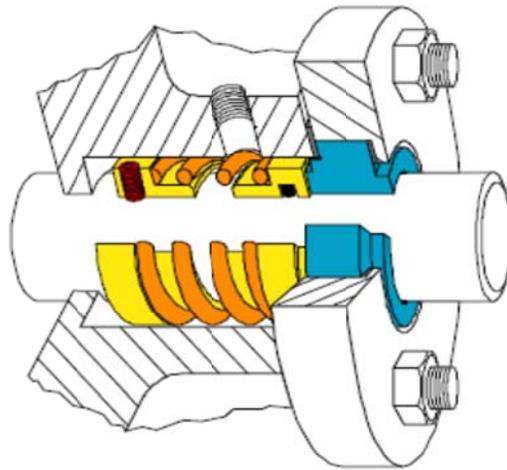


Figura N° 2.2: Sello mecánico de 1ra Generación.

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

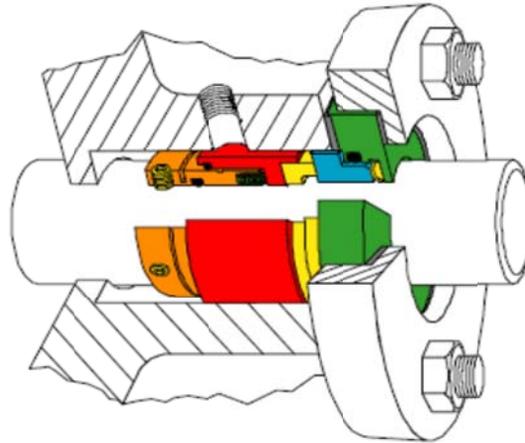


Figura N° 2.3: Sello mecánico de 2da Generación.

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*)

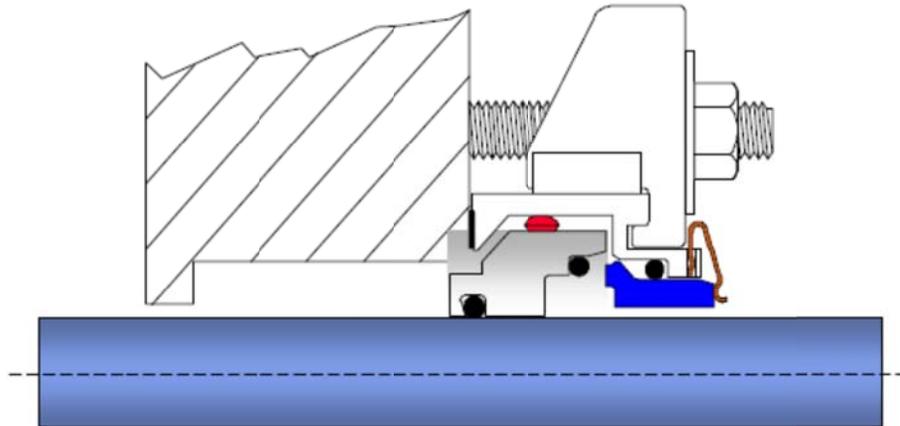


Figura N° 2.4: Sello mecánico de 3ra Generación.

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

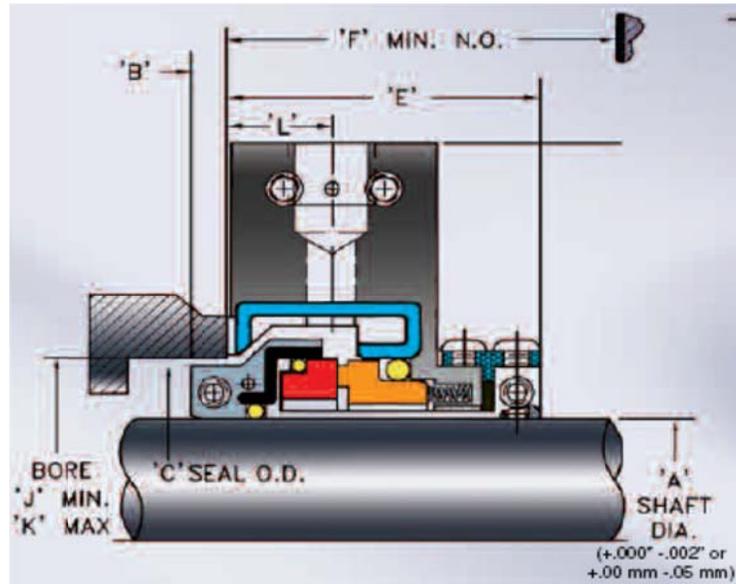


Figura N° 2.5: Sello mecánico de 4ta Generación.

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

Criticidad Total = Frecuencia de Falla x Consecuencia

Consecuencia = ((Imp Operacional x Flexibilidad) + Costo Mtto + Imp SAH)

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

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)

FACTORES DE RIESGOS								
TIPO DE SELLO	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 : Critico	(91 - 200)
SC : Semi Critico	(41 - 90)
NC : No Critico	(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 N° 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.](#)

Aplicación:	Molino #2
Área:	Preparación de Pulpa y Máquina de Papel.
Equipos:	Bomba Limpiador Primarios Posiflow P15 y Bomba del Tanque Couch P21
Tiempo de evaluación:	8 semanas
Fugas:	No se observan fugas de agua ni de pulpa de papel.
Impacto ambiental	Reducido el derrame de pulpa al efluente
Año y mes de instalación	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 especial, donde se lleva a cabo el montaje del nuevo sistema en la mejora en las primeras bombas del proyecto.

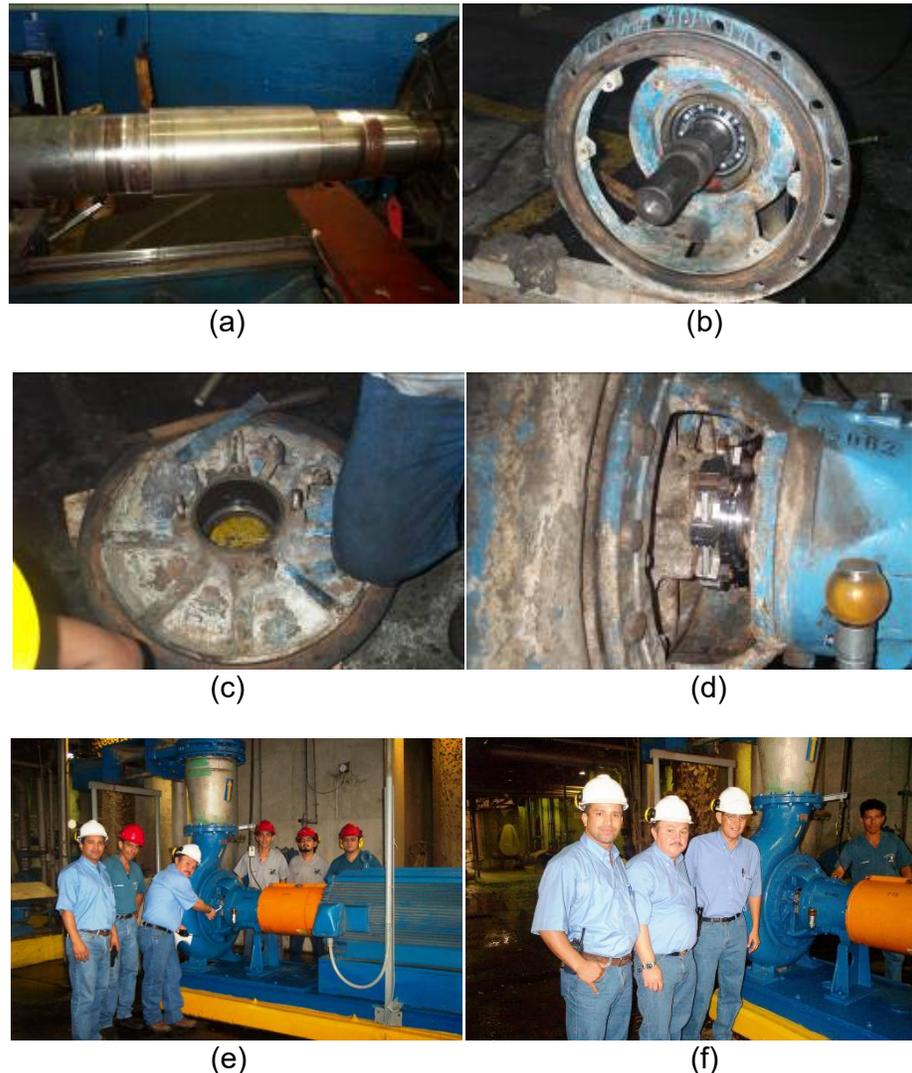


Figura N° 2.6: Proceso de mejora bomba limpiadores primarios posiflow P15.

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.

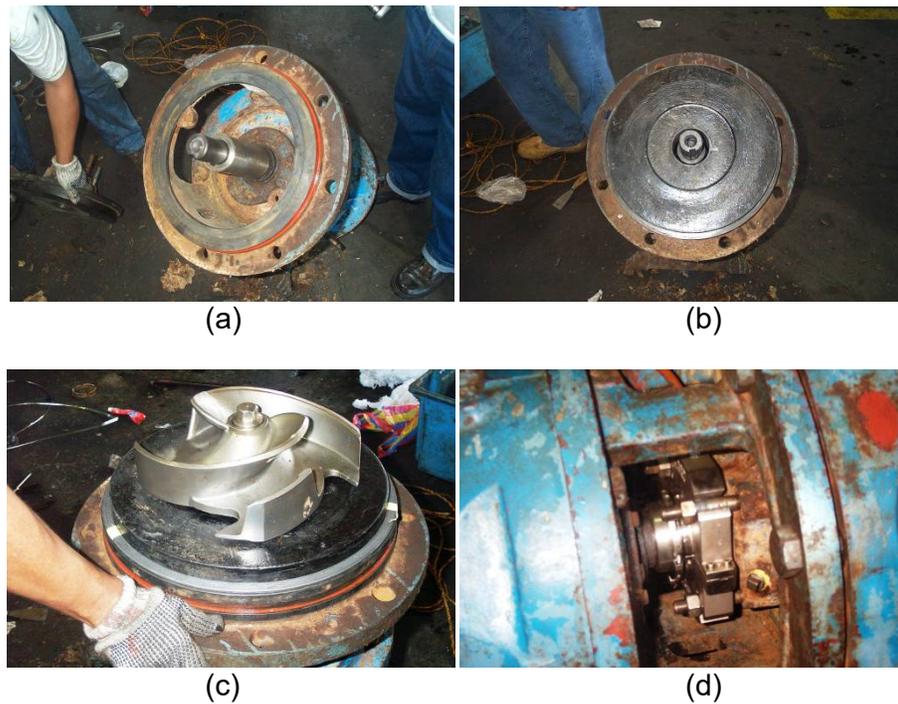


Figura N° 2.7: Proceso de mejora en bomba del couch rotura P21.

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.

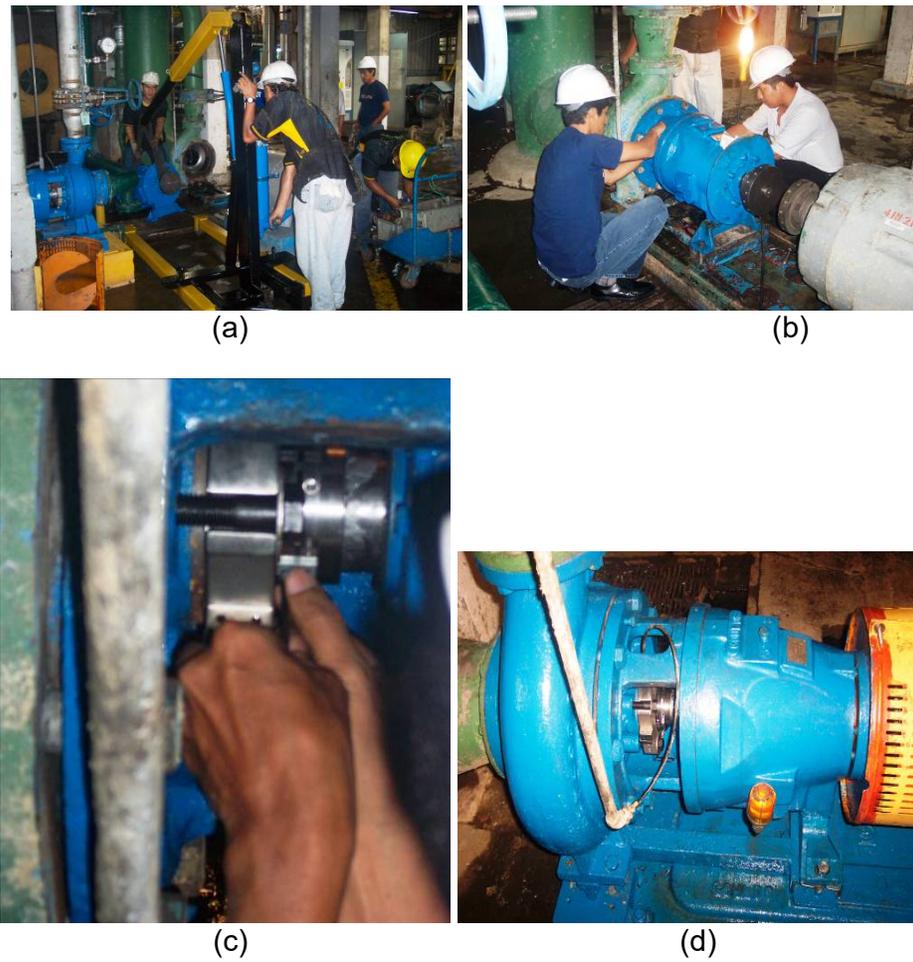


Figura N° 2.8: Proceso de mejora en bomba primaria de máquina

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
Sub-total:	\$ 3,692.43

TOTAL : \$ 9,751.97

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^{da} etapa del proyecto.

La 2^{da} 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^{da} 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	ANO 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	Bomba Primaria Depuración Bagazo			P							R
832 B 80	Bomba limpiadores terciarios (P-13)						E				
832 B 20	Bomba Secundaria Bagazo				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	Bomba tanque de bagazo (P-12)					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													P
21B13-1	Bomba del Hidropulper #1 Kraft						P							
23B111-1	Bomba principal dump chest *													P
23B241	Bomba tanque de broke *							P						
23B321-1	Bomba # 1 agua blanca norte (nueva)						P							
23B322-1	Bomba # 2 agua blanca sur (nueva)										P			
23B41	Bomba al selectifier			P										
23B43	Bomba limpiadores primarios posiflow								P					
23B45	Bomba limpiadores secundario uniflow									P				
23B47	Bomba limpiadores secundario posiflow			P										
24B111	Bomba principal desperdicios *							P						
24B211	Bomba tanque kraft refinación #1 *										P			
24B212	Bomba tanque kraft refinación #2		P											
24B31	Bomba tanque mezcla									P				
23B33	Bomba de regulacion de consistencia	P												
24B34	Bomba tanque pulpa kraft almacenam.					P								
23B42	Bomba limpiadores primarios uniflow					P								
41B111	Bomba tanque de máquina *	P												
423B31	Bomba del pozo couch # 1										P			
423B32	Bomba del pozo couch # 2						P							
41B21	Bomba primaria de máquina							P						
41B241	Bomba secundaria de máquina										P			

P 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.

CAPÍTULO 3

3. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE SELLADO

La mejora realizada al sistema de sellado ha traído muchas ventajas a la operación de los equipos de bombeo de pulpa, consideradas como los elementos principales en un proceso industrial de fabricación de papel.

Para ello se describirá los puntos favorables en los que ha tenido incidencia el sistema de sellado para el mejoramiento del sistema de bombeo y como resultado final la reducción de costos de producción y de mantenimiento, factores considerados principales en la productividad de la organización.

3.1. Índice de gestión de producción y de mantenimiento.

Para facilitar la evaluación de las actividades de producción y de mantenimiento y que van ayudar a tomar decisiones y establecer metas, se considerará tablas e índices acompañados con sus

respectivos gráficos que indican los resultados obtenidos con el nuevo sistema de sellado en los equipos de bombeo de pulpa de papel en nuestra empresa, de acuerdo a la siguiente clasificación:

Índices de gestión de producción

- Índice de conversión (rendimiento)
- Costo por derrame
- Consumo de agua

Índices de gestión de mantenimiento

- Disponibilidad de equipos
- Tiempo medio para la falla (TMPF)
- Confiabilidad de equipos
- Costo por consumo de materiales (repuestos)
- Costo de mano de obra

Índices de gestión de producción

Estos índices ayudarán a entender y cuantificar las pérdidas o mejoras que se ha obtenido con el proyecto propuesto, aunque algunos de ellos han incidido directa o indirectamente. Se hará una breve descripción del índice y en cuánto fue mejorado.

Índice de rendimiento o de conversión

Este índice es la relación entre la cantidad de materia prima que ingresa al proceso productivo y la cantidad de papel producido.

$$IR = TMI / TMP$$

ec. 3.1

Dónde:

- IR: Índice de rendimiento
 TMI: Toneladas materia prima que ingresan
 TMP: Toneladas papel producidas

Haciendo un análisis histórico de este índice, se ha mantenido cerca de los valores estándar de 1.12, donde los valores reales obtenidos con la ecuación 3.1, se muestran en la [tabla N° 3.1](#).

ÍNDICE DE CONVERSIÓN				
Año	Materia Prima [TM]	Producción Real [TM]	Índice Conversión	
			Estándar	Real
2001	92,960.22	81,508.61	1.12	1.1405
2002	89,218.96	79,514.47	1.12	1.1220
2003	94,829.09	84,082.97	1.12	1.1278
2004	98,291.55	87,930.58	1.12	1.1178
2005	102,642.22	90,625.25	1.12	1.1326

Tabla N° 3.1: Estadística del índice de conversión

Con el proyecto implantado, se consigue uno de los objetivos principales por el cual es aprobado el mismo, la reducción de los costos de producción. Si se considera las pérdidas de pulpa de papel que emigraban al efluente de fábrica, por las fugas en los sistema de sellado de las bombas, calculados en [tabla N° 1.11](#), se tiene, ver [tabla N° 3.2](#), donde se puede observar que el valor promedio de pulpa de papel perdido al año alcanzaban los 242 TM/año (asumiendo un error del 20 % de confianza), al considerarlo en el cálculo del índice de conversión, se tiene una variación de aproximadamente 0.30 % menor. Aunque al parecer, es una variación pequeña, pero tiene una repercusión aceptable en los costos de producción, incidiendo mucho en los valores globales anuales de la empresa.

ÍNDICE DE PERDIDA						
Año	MP Perdida [TM]	MP Real [TM]	Producción Real [TM]	Índice Conversión		VARIACION %
				Estándar	Real	
2001	242.25	92,717.97	81,508.61	1.12	1.1375	0.30%
2002	242.25	88,976.71	79,514.47	1.12	1.1190	0.30%
2003	242.25	94,586.84	84,082.97	1.12	1.1249	0.29%
2004	0.00	98,291.55	87,930.58	1.12	1.1178	0.00%
2005	0.00	102,642.22	90,625.25	1.12	1.1326	0.00%

Tabla N° 3.2: Estadística del índice de conversión con pérdidas.

Costos por derrames

Como se enunció anteriormente, los costos relacionados con los derrames de pulpa se han promediados por igual en los años de análisis, por cuestiones de cálculo del beneficio se consideran los años desde 2001 hasta el 2005, pero los años que representan el ahorro es, desde el año 2003 hasta el año **2005**, con un tiempo de implantación del sistema de dos años, entonces al hacer el cálculo respectivo, se tiene ahorros considerables, observado en la [tabla N° 3.3](#), de acuerdo a esta tabla, la pérdida de materia prima anual, medidas en toneladas métricas (TM), es de aproximadamente 242 TM/año, que traducidos en dólares es aproximadamente **39,462.01 USD/año**, con un costo promedio por tonelada de materia prima de 163 USD/TM. Entonces, se puede decir, que el ahorro anual obtenido, hace que el sistema de sellado propuesto para las bombas de pulpa de papel en Papelera Nacional S.A. sea rentable, que sumados a los otros costos de mantenimiento, calculados en las siguientes secciones se justifica y hace aún más atractivo este proyecto.

COSTO POR DERRAMES		
Año	MP Perdida [TM/AÑO]	Costo MP Real [USD/AÑO]
2001	242.10	39,462.01
2002	242.10	39,462.01
2003	242.10	39,462.01
2004	0.00	0.00
2005	0.00	0.00

Tabla N° 3.3: Costo por derrames.

Consumo de agua

El agua de sello o de enfriamiento del sistemas de sellado, es un parámetro importante e indispensable para la operación normal y eficaz del sistema de sellado en los equipos de bombeo. Antes del proyecto y como se vio en la [tabla 1.3](#) del capítulo 1, el consumo por uso de agua es de aproximadamente **39`000,000.0 Galones/año**. Durante la etapa de operación de los sellos, se vieron reducidos los consumos de agua, por el simple hecho de que con este sistema estos fueron controlados tanto en presión y en flujo, cumpliendo el punto óptimo de operación para el buen funcionamiento del sistema. Según datos históricos y de acuerdo a estudios realizados por los fabricantes de sellos mecánicos, el consumo de agua de enfriamiento

del sello es 50% menor que con el uso de empaquetaduras. Entonces lo que antes se liberaba al efluente de fábrica al no permitir recuperar el agua, provocando un impacto ambiental por el mal uso de este recurso natural, ahora con el nuevo sistema de sellado ha permitido recuperar el agua y enviarla más bien al proceso de producción, permitiendo obtener una buena optimización de este recurso natural. De acuerdo a este dato teórico se puede decir que los galones de agua ahorrado por la implementación del nuevo sistema de sellado se aproximan a **19`500,000.0 Galones/año**.

En la **tabla N° 3.4**, se muestra el consumo de agua usados con la mejora realizada en el sistema de sellado, lo cual es lo más aproximado a la realidad con **12`632,004.0 GPA**, que si se proyecta al periodo de operación o de vida (columna tiempo de vida) del sistema de sellado de 2.8 año como promedio, se tendría consumos de agua de aproximadamente **35`203,907.2 Galones**, que comparados con la cantidad sin este sistema de sellado en bombas, la cual es de **109`105.920.0 Galones**, se tiene ahorros de aproximadamente **73`902,012.8 de galones** en todo el tiempo de vida del sistema implementado, logrando con ello ayudar al medio ambiente a conservar el recurso natural agua. Es importante también considerar que en los actuales momentos el uso del agua como un recurso

natural extraída de pozos profundos, no representa valor monetario que influye mucho en los costos actuales, pero que en el futuro si se tuviera que pagar al gobierno nacional este consumo de agua, afectaría a los costos de producción y de mantenimiento de la organización.

CONSUMO DE AGUA EN EL SELLADO DE BOMBAS

CÓDIGO EQUIPO	EQUIPO	GPM (50%)	Gal./ AÑO	TIEMPO VIDA (AÑO)	TOTAL Gal.
21B17	Bomba del Hidropulper # 2	1.00	475,200.0	3.89	1,849,320.0
21B13-1	Bomba del Hidropulper #1 Kraft	1.00	475,200.0	1.95	925,320.0
23B111	Bomba principal dump chest *	1.00	475,200.0	1.61	762,960.0
23B321-1	Bomba # 1 agua blanca norte (nueva)	1.00	475,200.0	4.23	2,010,360.0
23B322-1	Bomba # 2 agua blanca sur (nueva)	1.00	475,200.0	1.54	729,960.0
23B41	Bomba al selectifier	1.00	475,200.0	5.13	2,438,040.0
23B43	Bomba limpiadores primarios posiflow	1.00	475,200.0	5.82	2,765,400.0
23B45	Bomba limpiadores secundario uniflow	1.00	475,200.0	2.64	1,252,680.0
23B47	Bomba limpiadores secundario posiflow	1.00	475,200.0	1.30	616,440.0
24B212	Bomba tanque kraft refinación #2	1.00	475,200.0	1.36	644,160.0
24B31	Bomba tanque mezcla	1.00	475,200.0	3.07	1,458,600.0
23B33	Bomba de regulacion de consistencia	1.00	475,200.0	5.51	2,616,240.0
24B34	Bomba tanque pulpa kraft almacenam.	1.00	475,200.0	2.18	1,036,200.0
423B31	Bomba del pozo couch # 1	1.00	475,200.0	2.22	1,054,680.0
41B21	Bomba primaria de máquina	1.00	475,200.0	1.23	582,560.0
41B241	Bomba secundaria de máquina	1.00	475,200.0	4.04	1,917,520.0
81B 13	Bomba princ.del Hidropulper (P-02)	0.798	378,972.0	1.01	383,182.8
83 B 11	Bomba del Bel Purge (P-01)	0.885	420,552.0	2.03	852,786.0
83 B 41	Bomba tanque dump chest (P-03)	1.025	487,080.0	1.73	842,919.0
83 B 54	Bomba de criba secundaria (P-04)	0.110	52,272.0	0.69	35,864.4
83 B 61	Bomba limpiad.secud.uniflow (P-06)	0.500	237,600.0	2.63	624,360.0
83 B 62	Bomba limpiad.primarios posiflow (P-15)	0.980	465,696.0	3.13	1,459,180.8
83 B 72	Bomba tanque de broke chest (P-22)	1.250	594,000.0	0.95	561,550.0
84 B 11	Bomba tanque OCC (P-09)	0.760	361,152.0	0.76	274,876.8
83 B 64	Bomba limp.secund.posiflow (P-16)	0.105	49,896.0	4.10	204,573.6
91 B 11	Bomba tanque de máquina (P-14)	1.925	914,760.0	3.47	3,173,709.0
923 B 31	Bomba del couch normal (P-20)	0.535	254,232.0	4.90	1,245,736.8
923 B 32	Bomba del couch rotura (P-21)	0.500	237,600.0	5.41	1,284,360.0
96 B 401	Bomba del UTM break (P-26)	0.610	289,872.0	3.28	950,136.0
96 B 402	Bomba del UTM trim (P-27)	0.600	285,120.0	2.28	650,232.0

TOTAL (GAL) 12,632,004.0 35,203,907.2

Tabla N° 3.4: Consumo de agua con mejora en bombas.

Índices de gestión de mantenimiento

Como se anunció al inicio de esta sección, los índices de gestión de mantenimiento que se van a considerar, tienen cada uno su análisis, que indicará en cuánto se ha mejorado el mantenimiento de los equipos de bombeo.

Disponibilidad de equipos

La disponibilidad es la relación entre la diferencia del número de horas del periodo considerado (horas calendario) con el número de horas de intervención del equipo por el personal de mantenimiento (mantenimiento preventivo, correctivo y otros) para cada ítem observado y el número total de horas del periodo considerado y multiplicada por 100, siendo un valor porcentual.

Esta dada por la siguiente ecuación:

$$A = [\sum (HCAL - HTMN) / \sum HCAL] \times 100$$

ec. 3.2

Dónde:

A:	Disponibilidad
HCAL:	Horas calendario
HTMN:	Horas totales por mantenimiento

En resumen la disponibilidad puede ser expresada como **“La probabilidad de que un equipo se encuentre en condiciones de cumplir su misión en un instante cualquiera”**.

La disponibilidad de los equipos de bombeo en nuestro caso, indica el porcentaje del tiempo en que una bomba está a disponibilidad del órgano de operación para desempeñar o cumplir su función. Este índice también se lo conoce como **“Performance o Desempeño de equipos”**.

Para este proyecto, el índice de disponibilidad fue superado exitosamente, comparado con el valor histórico, antes de la ejecución e implantación del sistema de sellado, aplicado a las bombas de pasta del molino 2, tomado como una muestra del global del proyecto, como se puede observar en las [tablas N° 3.5 y 3.6](#) y [figura N° 3.1](#).

En el grafico se demuestra que la tendencia de disponibilidad de las bombas fueron creciendo, e incluso en la mayoría de las bombas en los años 2004 en molino 2 y 2005 en ambos molinos se logra tener disponibilidades de hasta el 100 %, ver [tabla 3.6](#); y las que no se pudo lograr resultados positivos, hubo causas por las cuales no se

cumplió el objetivo esperado y sobre ellas se presentan recomendaciones para solucionarlas a futuro en el capítulo siguiente.

DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS ANTES DEL PROYECTO M1 Y M2

CÓDIGO EQUIPO	NOMBRE DEL EQUIPO	INDICE DE DISPONIBILIDAD ANUAL (%)		
		2000	2001	2002
81B 13	Bomba princ.del Hidropulper (P-02)	99.85	99.55	99.95
83 B 11	Bomba del Bel Purge (P-01)	99.84	99.89	99.95
832 B 10	Bomba Primaria Depuración Bagazo	99.98	99.87	99.96
832 B 80	Bomba limpiadores terciarios (P-13)	99.72	99.79	99.87
832 B 20	Bomba Secundaria Bagazo	99.88	100.00	99.97
83 B 41	Bomba tanque dump chest (P-03)	99.63	99.65	99.92
83 B 54	Bomba de criba secundaria (P-04)	99.67	99.87	99.95
83 B 60	Bomba limpiad.primarios uniflow (P-05)	99.70	99.57	99.53
83 B 61	Bomba limpiad.secud.uniflow (P-06)	99.81	99.88	99.89
83 B 62	Bomba limpiad.primarios posiflow (P-15)	99.40	99.83	99.82
83 B 72	Bomba tanque de broke chest (P-22)	99.72	99.86	99.91
84 B 11	Bomba tanque OCC (P-09)	99.67	99.78	99.58
84 B 14	Bomba tanque de bagazo (P-12)	99.87	99.73	99.58
83 B 64	Bomba limp.secund.posiflow (P-16)	99.51	99.92	99.93
91 B 11	Bomba tanque de máquina (P-14)	99.78	99.86	99.85
923 B 31	Bomba principal couch pit-rotura (P-20)	99.66	99.80	99.95
923 B 32	Bomba couch pit-normal (P-21)	99.83	99.94	99.93
96 B 401	Bomba del UTM break (P-26)	99.92	99.85	99.88
96 B 402	Bomba del UTM trim (P-27)	99.90	99.90	99.98
41 B 21	Bomba Primaria de máquina	99.90	99.75	99.89
41 B 24 -1	Bomba Secundaria de máquina	99.99	99.92	99.98
23 B 42	Bomba Primaria Uniflow	99.67	99.86	99.73

Tabla N° 3.5: Disponibilidad de bombas de Pasta antes del proyecto.

DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS CON MEJORAS M1 Y M2

CÓDIGO EQUIPO	NOMBRE DEL EQUIPO	INDICE DE DISPONIBILIDAD ANUAL (%)		
		2003	2004	2005
81B 13	Bomba princ.del Hidropulper (P-02)	99.58	99.88	99.88
83 B 11	Bomba del Bel Purge (P-01)	99.85	99.95	99.95
832 B 10	Bomba Primaria Depuración Bagazo	99.97	100.00	100.00
832 B 80	Bomba limpiadores terciarios (P-13)	99.92	99.72	100.00
832 B 20	Bomba Secundaria Bagazo	99.90	100.00	100.00
83 B 41	Bomba tanque dump chest (P-03)	99.58	99.86	99.86
83 B 54	Bomba de criba secundaria (P-04)	99.83	99.99	99.99
83 B 60	Bomba limpiad.primarios uniflow (P-05)	99.64	99.86	99.86
83 B 61	Bomba limpiad.secud.uniflow (P-06)	99.88	99.95	100.00
83 B 62	Bomba limpiad.primarios posiflow (P-15)	99.71	99.95	100.00
83 B 72	Bomba tanque de broke chest (P-22)	99.73	99.92	100.00
84 B 11	Bomba tanque OCC (P-09)	99.64	99.98	99.98
84 B 14	Bomba tanque de bagazo (P-12)	99.95	99.98	99.98
83 B 64	Bomba limp.secund.posiflow (P-16)	99.70	99.99	100.00
91 B 11	Bomba tanque de máquina (P-14)	99.91	100.00	100.00
923 B 31	Bomba principal couch pit-rotura (P-20)	99.77	100.00	100.00
923 B 32	Bomba couch pit-normal (P-21)	99.88	100.00	100.00
96 B 401	Bomba del UTM break (P-26)	99.95	100.00	100.00
96 B 402	Bomba del UTM trim (P-27)	99.97	100.00	100.00
41 B 21	Bomba Primaria de máquina	99.76	100.00	100.00
41 B 24 -1	Bomba Secundaria de máquina	99.71	100.00	100.00
23 B 42	Bomba Primaria Uniflow	99.87	100.00	100.00

Tabla N° 3.6: Disponibilidad de bombas de Pasta del Molino 2.
(Proyecto).

Dónde:

TMPF:	Tiempo Medio Para la Falla
HROP:	Horas de operación
NTMC:	Número total de fallas

Este indicador, mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupciones dentro del periodo considerado, como se lo expresó en el capítulo 1.

En nuestro caso, este proyecto se desarrolla por etapas, primero el molino #2 en el año 2003 y 2004; y en el molino #1 en el 2004-2005, como se muestra en las [tablas N° 3.7 y N° 3.8](#) respectivamente, los resultados de tiempos promedios para la falla del sistema de sellos en los equipos de bombeo contemplados en este proyecto. Como se puede observar en estas tablas, se mejora el TMPF, porque antes del proyecto se tenía un estimado de 7.26 meses, ahora con la mejora implementada se obtiene un estimado de 31.2 meses en el molino 2 y 35.2 meses en el molino 1, dando beneficios considerables en la disponibilidad de los equipos.

Este índice también es conocido como: Tiempo Promedio entre Reparaciones (TMER), Tiempo Promedio Operativo (TMO) o Tiempo

Promedio hasta la Falla (TPF).

TMPF DE PROYECTO MOLINO 2								
CÓDIGO EQUIPO	EQUIPO	INICIO	FIN	HORAS OPERAC.	HORAS PARADA	NUM FALLAS	TMPF	
							[HRS]	[MES]
81B13	Bomba princ.del Hidropulper (P-02)	28-ene-04	26-ene-05	8,736.0		1	8,736.0	12.1
83B11	Bomba del Bel Purge (P-01)	3-dic-03	2-dic-05	17,520.0		1	17,520.0	24.3
83B41	Bomba tanque dump chest (P-03)	3-dic-03	17-ago-05	14,952.0		1	14,952.0	20.8
83B54	Bomba de criba secundaria (P-04)	3-mar-04	5-nov-04	5,928.0		1	5,928.0	8.2
83B61	Bomba limpiad.secud.uniflow (P-06)	30-jun-04	1-feb-07	22,704.0		1	22,704.0	31.5
83B62	Bomba limpiad.primarios posiflow (P-15)	3-sep-03	5-oct-06	27,072.0		1	27,072.0	37.6
83B72	Bomba tanque de broke chest (P-22)	15-oct-03	26-ago-05	16,344.0	8.0	2	8,168.0	11.3
84B11	Bomba tanque OCC (P-09)	28-ene-04	28-oct-04	6,576.0		1	6,576.0	9.1
83B64	Bomba limp.secund.posiflow (P-16)	15-oct-03	30-oct-07	35,424.0		1	35,424.0	49.2
91B11	Bomba tanque de máquina (P-14)	19-may-04	20-oct-07	29,976.0		1	29,976.0	41.6
923B31	Bomba principal couch pit-rotura (P-20) *	3-mar-04	31-dic-08	42,336.0		1	42,336.0	58.8
923B32	Bomba couch pit-normal (P-21) *	3-sep-03	31-dic-08	46,704.0		1	46,704.0	64.9
96B401	Bomba del UTM break (P-26)	30-jun-04	23-sep-07	28,320.0		1	28,320.0	39.3
96B402	Bomba del UTM trim (P-27)	18-ago-04	17-nov-06	19,704.0		1	19,704.0	27.4
TMPF M2							22,437.1	31.2

Tabla N° 3.7: Tiempo Medio para la falla (TMPF) en Molino 2.

TMPF DEL PROYECTO DEL MOLINO 1								
CÓDIGO EQUIPO	EQUIPO	INICIO	FALLO	HORAS OPERAC.	HORAS PARADA	NUM FALLAS	TMPF	
							[HRS]	[MES]
21B17	Bomba del Hidropulper # 2	23-nov-05	30-jun-09	31,560.0		1	31,560.0	43.8
21B13-1	Bomba del Hidropulper #1 Kraft	31-dic-04	2-dic-06	16,824.0		1	16,824.0	23.4
23B111-1	Bomba principal dump chest *	8-feb-06	9-sep-07	13,872.0		1	13,872.0	19.3
23B321-1	Bomba # 1 agua blanca norte (nueva)	31-dic-04	3-mar-09	36,552.0		1	36,552.0	50.8
23B322-1	Bomba # 2 agua blanca sur (nueva)	13-abr-05	18-oct-06	13,272.0		1	13,272.0	18.4
23B41	Bomba al selectifier	28-jul-04	18-ago-09	44,328.0		1	44,328.0	61.6
23B42	Bomba limpiador primario uniflow	30-dic-03	30-jun-09	48,216.0		1	48,216.0	67.0
23B43	Bomba limpiadores primarios posiflow	2-feb-05	9-sep-07	22,776.0		1	22,776.0	31.6
23B45-1	Bomba limpiadores secundario uniflow	9-mar-05	19-jun-06	11,208.0		1	11,208.0	15.6
24B212	Bomba tanque kraft refinación #2	9-jun-04	10-oct-05	11,712.0		1	11,712.0	16.3
24B31	Bomba tanque mezcla	2-feb-05	12-feb-08	26,520.0		1	26,520.0	36.8
23B33	Bomba de regulacion de consistencia	21-abr-04	30-jun-09	45,504.0		1	45,504.0	63.2
24B34	Bomba tanque pulpa kraft almacenam.	5-sep-04	30-oct-06	18,840.0		1	18,840.0	26.2
423B31-1	Bomba del pozo couch # 1	9-mar-05	17-may-07	19,176.0		1	19,176.0	26.6
41B21-1	Bomba Primaria de Máquina	12-nov-03	13-abr-06	21,192.0	8.0	2	10,592.0	14.7
41B24-1	Bomba Secundaria de máquina	1-oct-03	23-sep-07	34,872.0	8.0	1	34,864.0	48.4
TMPF M1							25,363.5	35.2

Tabla N° 3.8: Tiempo Medio para la falla (TMPF) en Molino 1.

Haciendo un control estadísticos, [tabla N° 3.9](#), del comportamiento de los datos (horas) de operación o TMPF en todo el proyecto molino 1 y molino 2, se observa que tienen un comportamiento normal.

N°	EQUIPOS M1 y M2	TMPF [Hrs]
1	Bomba del Hidropulper # 2	33,864.0
2	Bomba del Hidropulper #1 Kraft	16,824.0
3	Bomba principal dump chest *	13,872.0
4	Bomba # 1 agua blanca norte (nueva)	36,552.0
5	Bomba # 2 agua blanca sur (nueva)	13,272.0
6	Bomba al selectifier	44,328.0
7	Bomba limpiador primario uniflow	50,520.0
8	Bomba limpiadores primarios posiflow	22,776.0
9	Bomba limpiadores secundario uniflow	11,208.0
10	Bomba tanque kraft refinación #2	11,712.0
11	Bomba tanque mezcla	26,520.0
12	Bomba de regulacion de consistencia	47,808.0
13	Bomba tanque pulpa kraft almacenam.	18,840.0
14	Bomba del pozo couch # 1	19,176.0
15	Bomba Primaria de Máquina	10,592.0
16	Bomba Secundaria de máquina	34,864.0
17	Bomba princ.del Hidropulper (P-02)	8,736.0
18	Bomba del Bel Purge (P-01)	17,520.0
19	Bomba tanque dump chest (P-03)	14,952.0
20	Bomba de criba secundaria (P-04)	5,928.0
21	Bomba limpiad.secud.uniflow (P-06)	22,704.0
22	Bomba limpiad.primarios posiflow (P-15)	27,072.0
23	Bomba tanque de broke chest (P-22)	8,168.0
24	Bomba tanque OCC (P-09)	6,576.0
25	Bomba limp.secund.posiflow (P-16)	35,424.0
26	Bomba tanque de máquina (P-14)	29,976.0
27	Bomba principal couch pit-rotura (P-20) *	42,336.0
28	Bomba couch pit-normal (P-21) *	46,704.0
29	Bomba del UTM break (P-26)	28,320.0
30	Bomba del UTM trim (P-27)	19,704.0

Tabla N° 3.9: Tiempo medio para la falla (TMPF).

Haciendo el histograma de frecuencia se tiene la [tabla N° 3.10](#) y [figura N° 3.2](#):

Clase	Frecuencia	% Acumulado
5,928.0	1	3.45%
14,688.0	8	31.03%
23,448.0	8	58.62%
32,208.0	4	72.41%
40,968.0	3	82.76%
y mayor...	5	100.00%

Tabla N° 3.10 Histograma de datos del TMPF

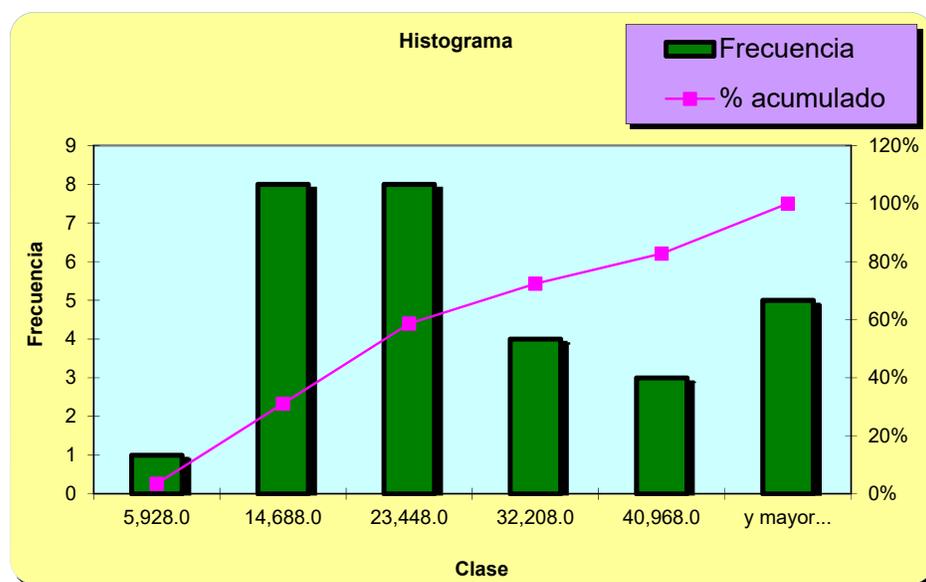


Figura N° 3.2: Histograma de TMPF de equipos de bombeo

De acuerdo a la [tabla N° 3.10](#) y [figura N° 3.2](#), se puede observar la frecuencia de ocurrencia de horas de funcionamiento del sistema de sellado en bombas, el 54% de las bombas alcanzaron aproximadamente las 15,000.0 horas y 24,000.0 horas de funcionamiento continuo, también existieron un gran número de bombas con el 40% que superaron las 30,000.0 horas de

funcionamiento, que unificando estos porcentajes resulta que el 94% superaron los valores históricos de funcionamiento del anterior sistema de sellado (prensaestopas), con un promedio de 25,000.0 horas, que es un resultado positivo para la evaluación del proyecto.

Confiabilidad de equipos

La confiabilidad es: *“La probabilidad de que un equipo cumpla su función (misión) específica (no falle) bajo condiciones de operación determinada en un periodo determinado”.*

La confiabilidad está relacionada básicamente con el número de fallos y con el tiempo medio operativo (TMPF). Mientras el número de fallos de un determinado equipo vaya en descenso o mientras el TMPF de un equipo aumente, la confiabilidad será mayor.

Con este análisis de confiabilidad, se quiere demostrar que el resultado por la implementación del sistema de sellado en el mejoramiento del sistema de bombeo de pasta es satisfactorio, porque se tiene información valiosa de la condición de los equipos, como: probabilidad de fallo, tiempo promedio para fallo, etapa de la vida en que se encuentra el equipo.

De forma práctica, la aproximación de la expresión más utilizada para calcular la confiabilidad de un equipo mecánico o un componente mecánico, es la desarrollada a partir de la distribución de Weibull, que está dada por:

$$R(t) = e^{-[t/\eta]^\beta} \quad \text{ec. 3.4}$$

Dónde:

- R (t): confiabilidad del equipo expresada en un valor probabilístico.
- e: constante base de los logaritmos naturales cuyo valor numérico es 2.718281828
- t: es el intervalo de tiempo en el cual se desea conocer la confiabilidad del equipo, partiendo de un período = 0.
- η : vida característica, se calcula en función del tiempo promedio operativo (TMPF).
- β : es el parámetro de forma que según la distribución de Weibull, relaciona el periodo de tiempo en el que se encuentre operando el equipo y el comportamiento del mismo ante la probabilidad de ocurrencia de fallos y sus valores son:

- $0 < \beta < 0.85$; el equipo se encuentra en la etapa de mortalidad infantil, al inicio de la vida útil.
- $0.85 \leq \beta \leq 1$; el equipo se encuentra en la etapa normal de la vida útil.
- $1 < \beta < 3$; el equipo se encuentra en la etapa de desgaste, valores de β por arriba de 1, indican que el equipo está comenzando a desgastarse, valores de β por arriba de 2, indican que el equipo se ha desgastado incrementándose el número de fallos en el mismo (el período de vida útil del equipo está llegando a su fin).

En la siguiente [figura N° 3.3](#), se representa la curva de confiabilidad de un equipo o componente, más conocida como curva de la bañera.

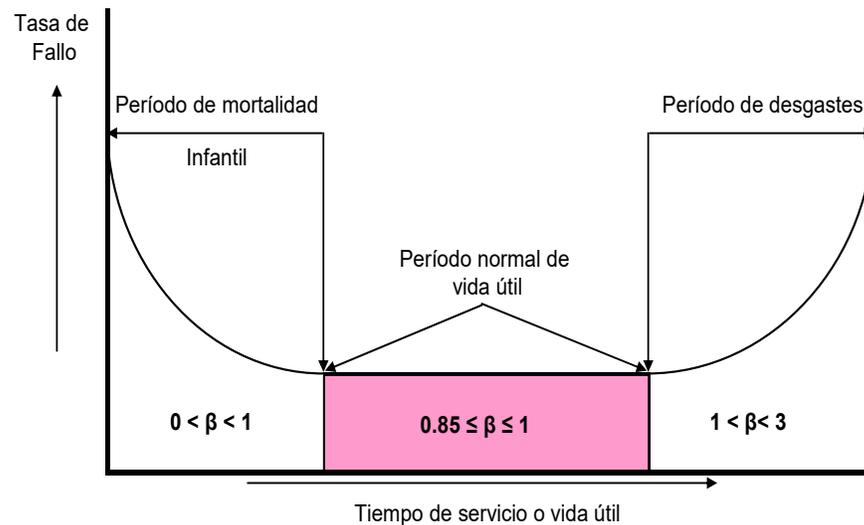


Figura N° 3.3: Curva de la bañera

Por lo tanto tomando estos aspectos teóricos, en este proyecto unificando datos (molino 1 y molino 2) los resultados de confiabilidad se los calcula con el siguiente procedimiento.

Los parámetros que se desconocen de la ecuación 3.4, es la vida característica η , también conocida en la distribución de Weibull como el factor de escala y β que es el factor de forma. Estos valores se los obtiene de acuerdo el método grafico de aproximación, para ello se ordena los datos (tiempo de operación hasta la falla) del molino 1 y del molino 2 y se obtiene:

N°	t [Hrs]	Fi=i/(n+1)	Fi (%)	ln(t) x	ln(ln(1/(1-Fi))) y
1	5,928.0	0.0323	4.00	8.687	-3.418
2	6,576.0	0.0645	7.00	8.791	-2.623
3	8,168.0	0.0968	10.00	9.008	-2.250
4	8,736.0	0.1290	13.00	9.075	-1.971
5	10,592.0	0.1613	17.00	9.268	-1.680
6	11,208.0	0.1935	20.00	9.324	-1.500
7	11,712.0	0.2258	23.00	9.368	-1.342
8	13,272.0	0.2581	26.00	9.493	-1.200
9	13,872.0	0.2903	30.00	9.538	-1.031
10	14,952.0	0.3226	33.00	9.613	-0.915
11	16,824.0	0.3548	36.00	9.731	-0.807
12	17,520.0	0.3871	39.00	9.771	-0.705
13	18,840.0	0.4194	42.00	9.844	-0.607
14	19,176.0	0.4516	46.00	9.861	-0.484
15	19,704.0	0.4839	49.00	9.889	-0.395
16	22,704.0	0.5161	52.00	10.030	-0.309
17	22,776.0	0.5484	55.00	10.033	-0.225
18	26,520.0	0.5806	59.00	10.186	-0.115
19	27,072.0	0.6129	62.00	10.206	-0.033
20	28,320.0	0.6452	65.00	10.251	0.049
21	29,976.0	0.6774	68.00	10.308	0.131
22	33,144.0	0.7097	71.00	10.409	0.213
23	34,864.0	0.7419	75.00	10.459	0.327
24	35,424.0	0.7742	78.00	10.475	0.415
25	36,552.0	0.8065	81.00	10.506	0.507
26	42,336.0	0.8387	84.00	10.653	0.606
27	44,328.0	0.8710	88.00	10.699	0.752
28	46,704.0	0.9032	91.00	10.752	0.879
29	47,088.0	0.9355	94.00	10.760	1.034
30	49,800.0	0.9677	97.00	10.816	1.255

Tabla N° 3.11: Datos ordenados del molino 1 y molino 2

Para la resolución gráfica se usa el papel de Weibull o también conocido como de Allen Plait (apéndice B), donde en el eje de las ordenadas se tiene los valores que resultan de $\ln[\ln(1+(1-F(t)))]$ (doble logaritmo neperiano) y en el eje de abscisas los valores de $\ln(t)$, pero que por cuestiones de facilitar los cálculos se usa hoja electrónica, obteniendo la [figura N° 3.4](#).

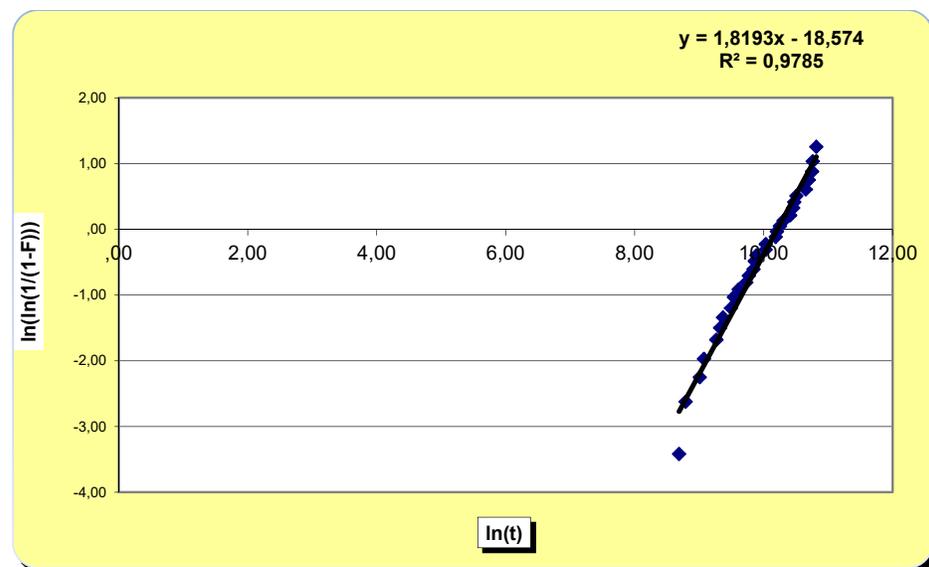


Figura N° 3.4: Curva de estimación de datos.

De acuerdo a la figura N° 3.4, se aproxima los datos a la ecuación de la línea recta ($y = mx + b$), donde se obtiene por regresión lineal y con confianza del 97,85% el valor de m y b , los cuales son la pendiente de la recta y la intercepción con el eje ordenado respectivamente y que por deducción matemática está dada por: $m = \beta$ y $b = -\beta \ln(\eta)$, por lo

tanto se obtiene los parámetros de la ecuación de Weibull (ver más en apéndice C):

$$\beta = 1.82$$

$$\eta = 27,157.84 \text{ hrs.}$$

Desarrollando la ecuación 3.4, se tiene:

$$R(t) = e^{-[t/\eta]^\beta}$$

$$R(t) = e^{-[t/27,157.84]^{1.82}}$$

Donde resulta que la confiabilidad no es un valor fijo, sino que varía con el tiempo de fallo o de duración, cuya distribución está dada en la tabla N° 3.12 y figura N° 3.5.

El valor esperado de la distribución de Weibull, es el tiempo medio para la falla (TMPF), que se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$E(t) = \text{TMPF} = \eta \Gamma(1+1/\beta)$$

ec. 3.5.

Dónde:

Γ : es la función gamma

N°	t [Hrs]	R(t) $\exp(-(t/\eta)^\beta)$	F(t) 1-R(t)
1	5,928.0	0.9188	0.0812
2	6,576.0	0.9046	0.0954
3	8,168.0	0.8673	0.1327
4	8,736.0	0.8531	0.1469
5	10,592.0	0.8049	0.1951
6	11,208.0	0.7883	0.2117
7	11,712.0	0.7745	0.2255
8	13,272.0	0.7313	0.2687
9	13,872.0	0.7145	0.2855
10	14,952.0	0.6841	0.3159
11	16,824.0	0.6315	0.3685
12	17,520.0	0.6121	0.3879
13	18,840.0	0.5756	0.4244
14	19,176.0	0.5665	0.4335
15	19,704.0	0.5522	0.4478
16	22,704.0	0.4736	0.5264
17	22,776.0	0.4718	0.5282
18	26,520.0	0.3823	0.6177
19	27,072.0	0.3700	0.6300
20	28,320.0	0.3432	0.6568
21	29,976.0	0.3095	0.6905
22	33,144.0	0.2515	0.7485
23	34,864.0	0.2235	0.7765
24	35,424.0	0.2149	0.7851
25	36,552.0	0.1984	0.8016
26	42,336.0	0.1284	0.8716
27	44,328.0	0.1095	0.8905
28	46,704.0	0.0901	0.9099
29	47,088.0	0.0872	0.9128
30	49,800.0	0.0692	0.9308

Tabla N° 3.12: Distribución de la función Confiabilidad.

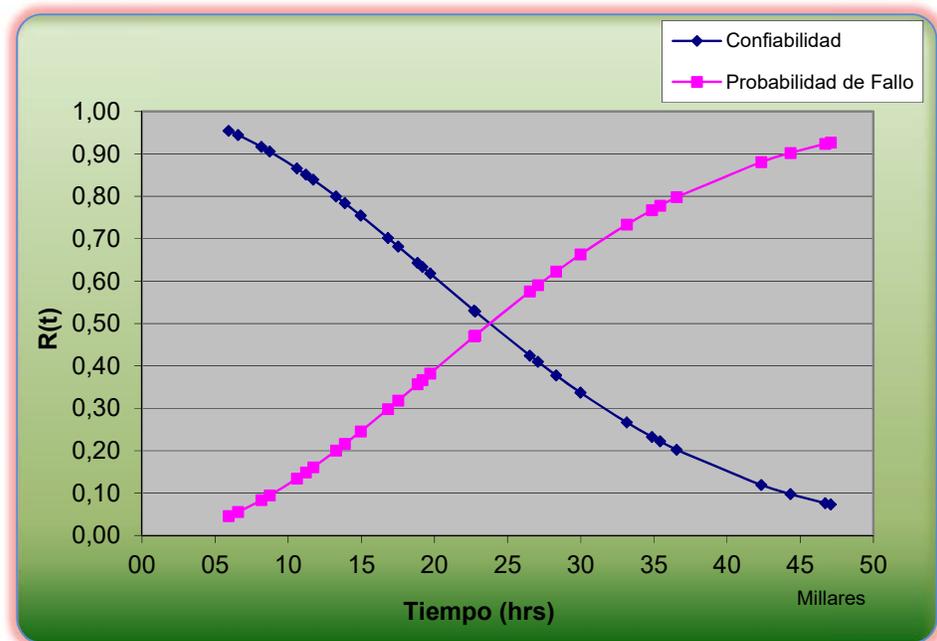


Figura N° 3.5: Distribución de la función Confiabilidad y probabilidad de fallo.

$$\begin{aligned}
 \text{TMPF} &= 27,157.84 \Gamma(1+1/1.82) \\
 &= 27,157.84 \Gamma(1.6); \text{ De tabla (apéndice A) se obtiene valor de} \\
 &\quad \text{gamma} \\
 &= 27,157.84 (0.8966) \\
 &= \mathbf{24,348.97 \text{ hrs.}}
 \end{aligned}$$

Este es el tiempo medio para la falla del global del proyecto del molino 1 y molino 2, el cual es un resultado muy bueno favorable para el cumplimiento de uno de los objetivos del proyecto de mejora.

Costos por Consumo de Materiales

Como se anunció en el primer capítulo, en la ejecución de este proyecto, se consigue reducir materiales y repuestos, debido a que los tiempos de falla o de parada del equipo de bombeo disminuyeron, por lo tanto el mantenimiento de los mismos bajaron y como consecuencia se tuvo ahorros, que se indica en la siguiente [tabla N° 3.13](#).

Como se puede observar en la tabla N° 3.13, que en el tiempo de vida de los sellos mecánicos, se deja de gastar aproximadamente **51,364.02 USD**, lo que es un ahorro muy importante que compensa prácticamente la inversión inicial del proyecto.

AHORROS DE REPUESTOS E INSUMOS				
CÓDIGO	EQUIPO	SUBTOTAL USD/AÑO	TIEMPO VIDA (AÑO)	TOTAL USD
21B17	Bomba del Hidropulper # 2	1,397.25	3.15	4,401.34
21B13-1	Bomba del Hidropulper #1 Kraft	862.64	1.95	1,679.75
23B111	Bomba principal dump chest *	693.51	1.61	1,113.47
23B321-1	Bomba # 1 agua blanca norte (nueva)	744.29	4.23	3,148.76
23B322-1	Bomba # 2 agua blanca sur (nueva)	998.34	1.54	1,533.56
23B41	Bomba al selectifier	1,198.93	5.13	6,151.18
23B42	Bomba limpiadores primarios uniflow	1,180.60	5.08	5,994.82
23B43	Bomba limpiadores primarios posiflow	1,322.52	2.64	3,486.31
23B45	Bomba limpiadores secundario uniflow	547.49	1.30	710.22
24B212	Bomba tanque kraft refinación #2	813.44	1.36	1,102.66
24B31	Bomba tanque mezcla	911.84	3.07	2,798.84
23B33	Bomba de regulacion de consistencia	961.04	4.76	4,578.29
24B34	Bomba tanque pulpa kraft almacenam.	926.10	2.18	2,019.41
423B31	Bomba del pozo couch # 1	862.64	2.22	1,914.58
41B21	Bomba primaria de máquina	1,010.24	1.23	1,238.48
41B24-1	Bomba secundaria de máquina	862.64	4.04	3,480.91
81B 13	Bomba princ.del Hidropulper (P-02)	1,010.24	1.01	1,021.46
83 B 11	Bomba del Bel Purge (P-01)	813.44	2.03	1,649.48
83 B 41	Bomba tanque dump chest (P-03)	852.57	1.73	1,475.42
83 B 54	Bomba de criba secundaria (P-04)	911.84	0.69	625.62
83 B 61	Bomba limpiad.secud.uniflow (P-06)	534.38	2.63	1,404.23
83 B 62	Bomba limpiad.primarios posiflow (P-15)	1,868.89	3.13	5,855.86
83 B 72	Bomba tanque de broke chest (P-22)	862.64	0.95	815.51
84 B 11	Bomba tanque OCC (P-09)	1,157.84	0.76	881.24
83 B 64	Bomba limp.secund.posiflow (P-16)	911.84	4.10	3,738.54
91 B 11	Bomba tanque de máquina (P-14)	961.04	3.47	3,334.27
923 B 31	Bomba principal couch pit-rotura (P-20)	862.64	4.90	4,226.94
923 B 32	Bomba del couch rotura (P-21)	911.84	5.41	4,929.00
96 B 401	Bomba del UTM break (P-26)	862.64	3.28	2,827.54
96 B 402	Bomba del UTM trim (P-27)	813.44	2.28	1,855.10
TOTAL (USD)		28,628.79	2.73	79,992.81
AHORRO NETO (USD/2.73 Año)		51,364.02		

Tabla N° 3.13: Ahorros de repuestos.

Si se evalúa el índice de consumo de repuesto (USD), en los equipos de bombeo considerados en este proyecto por los tonelajes de papel producidos en las dos máquinas de papel, se tiene.

ÍNDICE POR CONSUMO DE REPUESTOS			
Año	Producción (TM)		Índice USD/TM
	Presupuesto	Real	
2001	80,269.00	81,508.61	0.3512
2002	81,514.00	79,514.47	0.3600
2003	79,994.00	84,082.97	0.1248
2004	84,037.00	87,930.58	0.1194
2005	89,698.00	90,625.25	0.1158

Tabla N° 3.14: Índices de consumo de repuestos

Lo que indica la tabla 3.14, que el índice ha ido disminuyendo durante la operación del sistema implementado, que justifica la permanencia del sistema e incluso algunas mejoras a considerar en el futuro.

Costos por Mano de Obra

La mano de obra, considerada como uno de los rubros muy importante en los planes de mantenimiento de equipos, la misma que puede ser propia (personal de planta) o subcontratada. De ella depende el éxito de mantenimiento de los equipos y de su disponibilidad para la lograr los niveles de productividad deseados.

Al disponer con mano de obra calificada, va a influir mucho en los bajos costos de mantenimiento, disminuyendo los trabajos repetitivos para la operación de los equipos.

En la [tabla N° 3.15](#), se observa que en algunas de las bombas los trabajos anuales han sido con mucha frecuencia (columna NI), inflando su costo anual de mantenimiento. En todo caso, se observa que durante la operación del nuevo sistema de sellado, se tuvo ahorros significativos, que sumados al valor global, se logra beneficios importante para la empresa.

Nota: Estos son valores que se dejaron de invertir por el uso del nuevo sistema de sellado en equipos de bombeo.

COSTO POR MANO DE OBRA						
CÓDIGO EQUIPO	EQUIPO	NI * AÑO	COSTO INTERVENC. x USD/AÑO	COSTO USD/AÑO	TIEMPO VIDA (AÑO)	TOTAL USD
21B17	Bomba del Hidropulper # 2	1	150.00	150.00	3.89	583.75
21B13-1	Bomba del Hidropulper #1 Kraft	1	150.00	150.00	1.95	292.08
23B111	Bomba principal dump chest *	2	150.00	300.00	1.61	481.67
23B321-1	Bomba # 1 agua blanca norte (nueva)	3	120.00	300.00	4.23	1,269.17
23B322-1	Bomba # 2 agua blanca sur (nueva)	4	150.00	525.00	1.54	806.46
23B41	Bomba al selectifier	2	150.00	300.00	5.13	1,539.17
23B43	Bomba limpiadores primarios posiflow	2	150.00	300.00	5.82	1,745.83
23B45	Bomba limpiadores secundario uniflow	1	120.00	60.00	2.64	158.17
23B47	Bomba limpiadores secundario posiflow	2	120.00	240.00	1.30	311.33
24B212	Bomba tanque kraft refinación #2	1	150.00	75.00	1.36	101.67
24B31	Bomba tanque mezcla	2	150.00	225.00	3.07	690.63
23B33	Bomba de regulacion de consistencia	2	150.00	300.00	5.51	1,651.67
24B34	Bomba tanque pulpa kraft almacenam.	1	150.00	150.00	2.18	327.08
423B31	Bomba del pozo couch # 1	1	150.00	150.00	2.22	332.92
41B21	Bomba primaria de máquina	3	150.00	375.00	1.23	459.72
41B241	Bomba secundaria de máquina	1	150.00	150.00	4.04	605.28
81B 13	Bomba princ.del Hidropulper (P-02)	3	150.00	375.00	1.01	379.17
83 B 11	Bomba del Bel Purge (P-01)	1	150.00	75.00	2.03	152.08
83 B 41	Bomba tanque dump chest (P-03)	1	150.00	150.00	1.73	259.58
83 B 54	Bomba de criba secundaria (P-04)	2	150.00	225.00	0.69	154.38
83 B 61	Bomba limpiad.secud.uniflow (P-06)	2	120.00	180.00	2.63	473.00
83 B 62	Bomba limpiad.primarios posiflow (P-15)	4	180.00	630.00	3.13	1,974.00
83 B 72	Bomba tanque de broke chest (P-22)	1	150.00	150.00	0.95	141.81
84 B 11	Bomba tanque OCC (P-09)	4	150.00	600.00	0.76	456.67
83 B 64	Bomba limp.secund.posiflow (P-16)	2	150.00	225.00	4.10	922.50
91 B 11	Bomba tanque de máquina (P-14)	2	150.00	300.00	3.47	1,040.83
923 B 31	Bomba del couch normal (P-20)	1	150.00	150.00	4.90	735.00
923 B 32	Bomba del couch rotura (P-21)	2	150.00	225.00	5.41	1,216.25
96 B 401	Bomba del UTM break (P-26)	1	150.00	150.00	3.28	491.67
96 B 402	Bomba del UTM trim (P-27)	1	150.00	75.00	2.28	171.04
TOTAL (USD)				7,260.00	2.80	19,924.56
AHORRO NETO (USD/AÑO)					12,664.56	
COSTO REAL (USD/AÑO)					2,591.54	

Tabla N° 3.15: Costo por mano de obra

* NI: Número de intervenciones.

3.2. Cálculo de la productividad actual.

La productividad de la planta industrial como de cualquier actividad comercial, es uno de los parámetros de mejor visualización de la rentabilidad del negocio, que indica si se está teniendo ganancias o no, o si está siendo una empresa solvente o no. En esta parte se describe algunos conceptos básicos, de cómo se calcula la productividad y que índices de productividad son los que definen la gestión operativa de planta, en nuestro caso existen algunos índices de gestión con los cuales se cuantifica la productividad de la organización, los cuales son:

- Índice de consumo de vapor.
- Índice de consumo de químico.
- Índice de consumo de agua.
- Índice de consumo de materia prima
- Índice de consumo de energía
- Índice de Productividad
- Índice de Tiempos improductivos

Como regla general, estos índices se han relacionados siempre con un valor de referencia más conocido como el “presupuesto” de cada año y que al enumerarlos se lo encuentra de este forma. Estos índices se los encuentra en casi todas las papeleras a nivel mundial,

donde se controla y se mide sus procesos productivos en la fabricación de papel.

Se define, cada uno de estos índices para conocimiento general, pero en realidad se enfatizará en los índices que intervienen en el desarrollo de este proyecto, de los cuales algunos ya fueron desarrollados anteriormente.

Índice de consumo de vapor.- Es la relación que existe entre los kilogramos de vapor consumidos y los kilogramos de papel producidos.

$$ICv = \text{Kg. vapor} / \text{Kg. papel}$$

ec. 3.6

ÍNDICE DE CONSUMO VAPOR (ICV)		
TIPO DE PAPEL	VAPOR (Kg.Vapor/Kg.Papel)	
	INDICE REAL	ESTANDAR
TEST LINER	1.56	1.86
CORRUGADO MEDIO	1.69	1.90
EXTENSIBLE	2.80	2.38

Tabla N° 3.16: Índice de Consumo de Vapor

Índice de consumo de químico.- Es la relación que existe entre los kilogramos de químicos consumidos y las toneladas métricas de papel producido en el pope de cada molino de papel.

$$\text{ICQ} = \text{Kg. Químico} / \text{TM papel}$$

ec. 3.7

Índice de consumo de agua.- Es la relación que existe entre los galones de agua consumidos en el proceso y las toneladas métricas de papel producidas en el pope de cada molino de papel.

$$\text{IC}_{\text{H}_2\text{O}} = \text{Gal} / \text{TM papel}$$

ec. 3.8

Índice de consumo de materia prima.- Es la relación existente entre las toneladas métricas del desperdicio de papel utilizado como materia prima y las toneladas de papel producido en el pope. Este índice se lo conoce también como el factor de conversión o de rendimiento.

$$\text{FC} = \text{TM desperdicio} / \text{TM papel}$$

ec. 3.9

En relación a este índice, existen variaciones de acuerdo al tipo de papel, en nuestro caso la empresa produce tanto papel corrugado medio, test liner y papel extensible (para sacos de azúcar y cemento), donde en cada caso es diferente. En [tabla N° 3.17](#), se muestra los valores reales comparados con los valores estándar, considerados anualmente.

Factor de conversión anual		
TIPO DE PAPEL	FACTOR RENDIMIENTO	
	REAL	ESTAND.
TEST LINER	1.11	1.12
CORRUGADO MEDIO	1.16	1.15
EXTENSIBLE	1.00	1.07

TABLA N° 3.17; Factor de conversión de materia prima

Índice de consumo de energía.- Es la relación entre los kilovatios-horas consumidos por cada tonelada (TM) de papel producida en el pope de la máquina.

$$\text{ICE} = \text{Kw-hr} / \text{TM papel}$$

ec. 3.10

También, es otro de los parámetros importantes para cuantificar el rendimiento de la planta. Este depende de igual manera del tipo de papel producido en el sistema pope. En la [tabla N° 3.18](#), se presenta estos valores.

ÍNDICE DE CONSUMO DE ENERGIA (ICE)		
TIPO DE PAPEL	ENERGIA ELECTRICA (Kw-hr/Tm)	
	INDICE REAL	ESTANDAR
TEST LINER	478	442.86
CORRUGADO MEDIO	527	476.19
EXTENSIBLE	822	810.00

Tabla N° 3.18; Valores promedios de ICE

Índice de productividad.- Es la relación que existen entre las Toneladas de papel producidos contra las toneladas presupuestadas.

$$IP = TM \text{ reales} / TM \text{ pres}$$

ec. 3.11

Los resultados de este índice de productividad se muestra en la [tabla N° 3.19](#) y [figura N° 3.6](#), donde se indica resultados positivos en los años 1999 hasta el año 2005. Se observa que el índice ha ido en crecimiento debido a las modificaciones que han tendido las

máquinas por proyectos de mejora y en pequeña proporción a los métodos que se han aplicado para reducir pérdidas, entre ellos este proyecto de mejora en el sellado de bombas.

Años	Producción (TM)		IP (%)
	Pres.	Real	
1999	77,192.00	78,322.25	101.5
2000	78,421.00	80,382.60	102.5
2001	80,269.00	81,508.61	101.5
2002	81,514.00	79,514.47	97.5
2003	79,994.00	84,082.97	105.1
2004	84,037.00	87,930.58	104.6
2005	89,698.00	90,625.25	101.0

Tabla N° 3.19; Producción Real vs Presupuestada

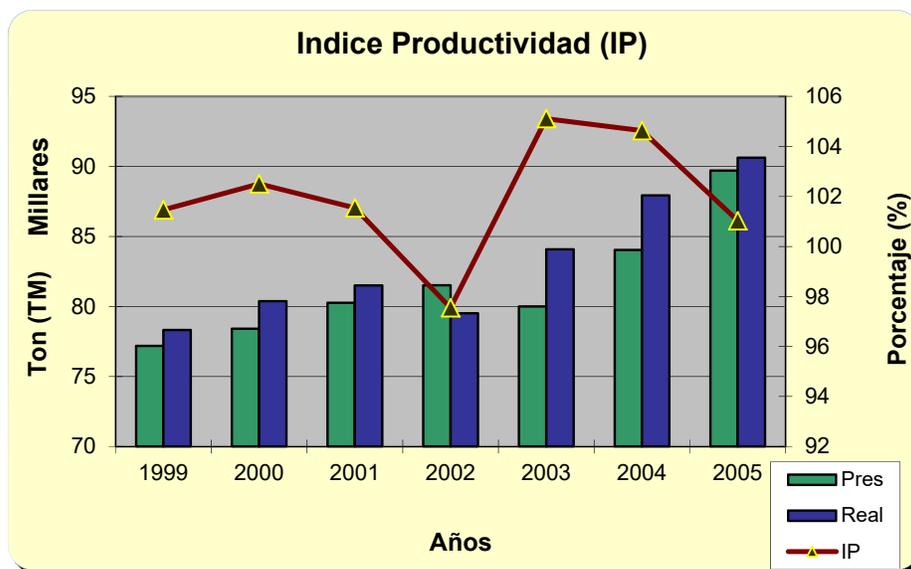


Figura N° 3.6: Comportamiento de la Productividad (IP).

Índice de Tiempos Improductivos.- De igual manera que el índice anterior, es la relación entre el tiempo presupuestado y el tiempo real, que la máquina deja de producir por paros forzosos programados e imprevistos.

$$\text{ITIP} = \text{TI reales} / \text{TI pres.}$$

ec. 3.11

Este índice, también se vio mejorado, al ejecutar este proyecto en los equipos de bombeo de pulpa de la planta. Como es medido para toda la planta y donde están incluidos todos los eventos que ocasionan paros imprevistos, se puede atribuir que un 5% del tiempo total por el efecto de fallas en bombas antes del proyecto se debe a esta causa, el cual fue solucionado con esta iniciativa. En la [tabla N° 3.20](#) y [figura N° 3.7](#), se muestra el cuadro comparativo de este índice.

AÑO	T. PRESUP. (HRS)	T. REAL (HRS)	ITIP [%]
1999	1032.90	746.41	72.26
2000	937.60	912.09	97.28
2001	1148.00	651.89	56.78
2002	1129.50	969.45	85.83
2003	1083.00	1028.45	94.96
2004	1064.00	910.83	85.60
2005	1041.50	910.06	87.38

Tabla N° 3.20; Índice de tiempos improductivos (ITIP)

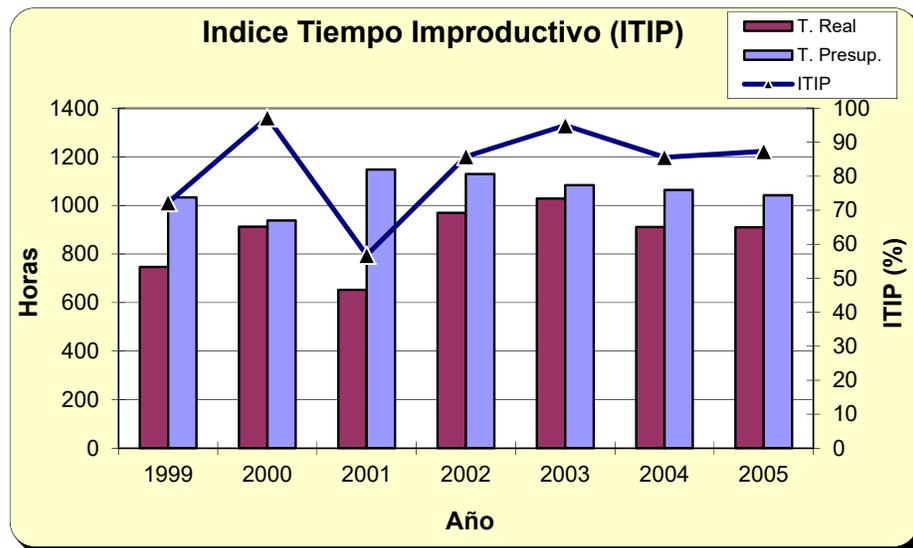


Figura N° 3.7: Índice de Tiempo Improductivo (ITIP).

3.3. Impacto ambiental de la solución propuesta.

El sistema de sellado, a más de las reducciones principalmente en el consumo de materia prima e incremento de la productividad ha traído grandes beneficios en el ámbito ambiental, que se las puede describir a continuación:

- Reducción de la liberación de fibra de papel al afluente de fábrica.
- Reducción en el consumo de repuestos, usadas en las bombas.
- Mejoramiento en la presentación del área de operación de las bombas por reducción completa de fugas.
- Reducción en el consumo de agua fresca

Reducción de la liberación de fibra de papel al afluente de fábrica.- El derrame de pulpa de papel al efluente de fábrica, trae como consecuencia un trato especial, que involucran costos adicionales por el tratamiento y recuperación de fibra, entre ellos los costos de energía eléctrica, mano de obra, insumos y repuestos, etc. Además de los riesgos que puede representar estos derrames y la penalización del estado ecuatoriano por contaminar el medio ambiente.

Está comprobado actualmente, que el costo por el tratamiento primario de un galón de agua en la planta de efluente de fábrica es de aproximadamente de 0.03 USD/m³, que afecta a la rentabilidad de la empresa y cuyo objetivo con este proyecto es reducir al mínimo este impacto económico.

Como se mencionó anteriormente en el capítulo 1, con este proyecto se ha logrado reducir los derrames de pulpa al efluente, que antes era difícil de controlar por la disposición ineficiente del sistema de sellado en los equipos de bombeo. Con el cambio realizado en el sistema de sellado en las bombas de proceso, se ha obtenido una recuperación de pulpa de aproximadamente de **242.25 Tm/año**, que representa

ahorros significativos a la empresa de **40,000.0 USD/año** aproximadamente por esta causa (los derrames).

Reducción del consumo de repuestos.- Las empaquetaduras siendo el material de sacrificio en el sellado de bombas, por lo general están construidas dependiendo de la aplicación de asbestos grafitado, de plomo, de aluminio o de materiales sintéticos como plásticos, teflón, caucho, etc., que al reducir su consumo se está dejando de usar los recursos de la naturaleza, por lo que este proyecto, apunta a crear un impacto positivo sobre el medio ambiente.

De acuerdo a la [tabla N° 1.7](#) del capítulo 1, se muestra ahorros significativos en el consumo de repuestos anuales, donde por el mantenimiento repetitivo anual o aumento de las frecuencias de las intervenciones de los equipos, es necesario hacer cambio de la mayoría de elementos mecánicos, como rodamientos, camisas (bocín), sellos, etc., que al disminuir estas frecuencias, se ha logrado ahorros de aproximadamente de **36,787.02 USD/año**.

Mejoramiento en la presentación en sitio del sistema de bombeo.- Es obvio que si se reducen los derrames de pulpa se va a una mejora en la presentación del lugar de operación de las bombas

de proceso. En las imagines siguiente se muestra los resultados antes y después del proyecto.



Figura N° 3.8: Ambiente de bomba P15 antes del Proyecto 2003.



Figura N° 3.9: Ambiente de bomba P15 después 2006.

Como se puede observar, el área de operación de la bomba P15, mejora su presentación, aun después de tres años, como se puede observar también en la [figura N° 3.9](#), (tomada en el mes de Julio del 2006).

Otra unidad en la [figura N° 3.10](#), es la bomba P06, donde se indica el estado del área donde opera continuamente, pero con la mejora realizada se obtuvo un mejor aspecto de operación del equipo, como se indica en la [figura N° 3.11](#).



Figura N° 3.10: Ambiente de bomba P06, noviembre 2003.



Figura N° 3.11: Ambiente de bomba P06, Julio 2006.

De igual manera con la bomba Secundaria de Máquina del Molino 1, en la [figura N° 3.12](#), se muestra el estado del área de operación y en la [figura N° 3.13](#), se muestra la mejora obtenida.



Figura N° 3.12: Ambiente bomba Sec. Maq. Mol 1, Septiembre 2003.



Figura N° 3.13: Ambiente de bomba Sec. Maq. Mol 1, Julio 2006.

Reducción en el consumo de agua fresca.- Con el sistema antiguo de sellado de las bombas, las empaquetaduras necesitan agua fresca para el enfriamiento y sellado de líquido del proceso, pero una gran cantidad de esta agua era derramada al ambiente (efluente de fábrica), permitiendo así aumentar el consumo de agua, la misma que es extraída del efluente subterráneo de la zona a través de pozos profundos (dos unidades), esta agua por ser un recurso natural debe ser controlado su uso y preservada su forma natural conforme a las regulaciones del estado ecuatoriano.

Como se demostró anteriormente en [tabla N° 1.3](#) del capítulo 1 y [tabla N° 3.4](#) de este capítulo, que los consumos de agua fue uno de

los resultados positivos con la mejora en los sistemas de bombeo tratados aquí en esta tesis. Los consumos de agua fresca fueron regulados ya que el nuevo sistema de sellado en las bombas, debe cumplir con ciertos parámetros de presión y flujo de operación para un óptimo funcionamiento de los mismos.

TABLA DE RESULTADOS

RESULTADOS ECONOMICOS				
DESCRIPCION DE LOS BENEFICIOS	COSTO (USD /AÑO)		AHORRO	AHORRO
	ANTES	MEJORA	USD/AÑO 1	USD/AÑO 3
DERRAME DE PULPA DE PAPEL	39,486.37	0.00	39,486.37	118,459.12
CONSUMOS DE ENERGIA	17,603.78	606.20	16,997.59	50,992.76
CONSUMO DE REPUESTOS	36,787.02	0.00	36,787.02	73,574.04
MANO DE OBRA	11,790.00	0.00	11,790.00	23,580.00
PARADA DE PRODUCCION POR FALLAS	38,800.00	0.00	38,800.00	116,400.00
RESULTADOS AMBIENTALES				
CONSUMO DE AGUA (GPA)	38,966,400.0	12,632,004.0	26,334,396.0	79,003,188.0
CONTAMINACION AMBIENTAL	CRITICO	CONTROLADA		
ASPECTO FISICO DEL ÁREA	MALA	BUENA		
RESULTADOS TECNICOS				
TMER (MESES)	7.25	33.55		
DISPONIBILIDAD (%)	99.82	99.97		
CONFIABILIDAD (%)	ND	MEJORADA		
MANTENIBILIDAD	BUENA	BUENA		
Índice DE CONVERSION	HISTORICO	MEJORADO		
TOTAL DEL AHORRO ECONOMICO (USD)			143,860.98	383,005.92

Tabla N° 3.21; Tabla de Resultados globales

Retorno de la inversión.-

Como toda inversión, este proyecto se hace un comparativo del retorno de la inversión (ROI-Return On Investment), definiéndolo como la relación entre la ganancia (ingresos menos inversión) y su inversión, como lo indica la siguiente ecuación:

$$\text{ROI} = (\text{Ingreso} - \text{Inversión}) / \text{Inversión}$$

En nuestro caso, el valor obtenido del ROI de la inversión realizada es.

Ingreso (ahorro obtenido con la mejora)	=	383,005.92 USD
Inversión 1 (costo del sistema de sellado)	=	100,159.69 USD
Inversión 2 (costo de implementación)	=	48,577.02 USD

$$\text{Por lo tanto el ROI} = (383,005.92 - 100,159.69 - 48,577.02) / (100,159.69 + 48,577.02)$$

$$\text{ROI} = 1.58$$

$$\text{ROI} = \mathbf{158 \%}$$

Este valor porcentual indica que es rentable la inversión en la mejora del sistema de bombeo al tener un valor muy alto del ROI con un tiempo de recuperación (TRI) de **0.4 años** aproximadamente.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES. Con la implementación de este proyecto se ha logrado los siguientes beneficios que merecen ser destacados:

- Una reducción significativa de los costos de mantenimiento y producción que sumados generan ganancias para la empresa, conocido como incremento en la productividad.
- Una reducción significativa de los derrames o pérdidas de pulpa de papel.
- Una reducción significativa del impacto ambiental provocado por los derrames de pulpa en los sistemas de bombeo de la planta industrial.
- Una reducción de pérdida de fibra proyectada (equipo operando las 24 horas /día, los 330 días/año) con un promedio de fuga por

empaquetadura de 0.76 gpm, a una consistencia promedio de 0.54 %, lo que da un costo de pérdida de fibra de **39.486,37 USD/AÑO**.

- Una reducción significativa de las averías en bombas, provocadas por contaminación de lubricantes y consecuentemente una reducción de consumo de repuestos como rodamientos, retenedores, camisas.
- Reducción significativa del número de intervenciones en bombas: Ejemplo, la **bomba P15** del molino 2, la cual tuvo un tiempo de operación sin intervención por daño de bomba de **2 años 7 meses**, ósea que ha tenido un efecto primario en el tiempo medio para la falla (**TMPF**), que antes se la intervenía cada 6 meses y ahora con un tiempo muy superado de operación continua. Adicional a ello con disponibilidades que superaron las históricas, y que en algunos casos llegaron a tener un 100% de disponibilidad.
- Mejora la confiabilidad de los equipos de bombeo, donde al inicio se observaba que el 50 % tenían un tiempo de duración de 8,255.0 hrs, aproximadamente; con el nuevo sistema, esto fue mejorado considerablemente teniendo tiempos de operación sin fallos de las bombas de 24,348.97 hrs con un 50% de confianza.
- Como consecuencia de los puntos anteriores, se ha logrado una reducción del costo de mano de obra por las bajas intervenciones de mantenimiento preventivo y correctivo de estos equipos.

- Uno de los puntos muy importantes que se consideran en un inversión es el ROI (retorno de la inversión), el cual en nuestro caso se tiene un valor del 158 %, lo que indica que la implementación de este proyecto es rentable.
- El tiempo del retorno de la inversión (TRI) es de 0.4 años (4.8 meses) aproximadamente, donde prácticamente la inversión se pagaría en su totalidad.

Esta innovación tecnológica en el sistema de sellado de bombas en PANASA, involucró la realización de charlas de capacitación teóricas-prácticas que la impartió el proveedor de los sellos, “LA FERRETERA C.A.” al personal del área técnica. Los mismos que deben aplicar estos conceptos para el correcto mantenimiento de este sistema de sellado.

RECOMENDACIONES. Tomando en cuenta por la implementación del sistema de sellado, ha cambiado la prioridad de los elementos crítico de falla, que antes eran las camisas y las empaquetadura. Y ahora estos elementos ya no son considerados como elementos de falla primaria, sino que más bien que en la actualidad las bombas son intervenidas para solucionar problemas de atoramientos de líneas de succión y/o corrección de desgastes por abrasión de los elementos

estacionarios y rotativos de las bombas, como platos e impulsor respectivamente.

Para solucionar este problema de desgastes, se recomienda lo siguiente:

- Emigrar a elementos de desgastes más resistentes a la abrasión, como el material CD-4, para los elementos estacionarios y rotativos de las bombas de pulpa (ver información en apéndice G).
- Instalar cámaras de inspección en la succión para realizar maniobras de desatoramiento sin necesidad de desmontar las unidades rotatorias de las bombas.
- Mantener y controlar los indicadores de presión del agua de sellado, para que en el futuro poder contabilizar con exactitud el consumo de agua en cada sistema de sello mecánico instalado.
- Disminuir el efecto de presencia de algas en el agua fresca que se utiliza en el sistema de sellado.
- Mantener actualizado los conocimientos en el manejo del nuevo sistema de sellado al personal de Mantenimiento (ver apéndice F y H).

APÉNDICES

APÉNDICE A	VALORES DE LA FUNCIÓN GAMMA
APÉNDICE B	MODELO DEL PAPEL WEIBULL
APÉNDICE C	MÉTODO DE CÁLCULO DE PARÁMETROS WEIBULL
APÉNDICE D	MÉTODO DE CÁLCULO DE PÉRDIDA DE ENERGÍA EN SELLOS MECÁNICOS
APÉNDICE E	INFORMACIÓN TÉCNICA DE SELLOS MECÁNICOS
APÉNDICE F	INSTRUCCIONES DE INSTALACIÓN DE SELLOS MECÁNICOS
APÉNDICE G	GUIAS DE MATERIALES PARA BOMBAS
APÉNDICE H	ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS DE SELLO EN BOMBAS (SPIRAL TRAC)
APÉNDICE I	INFORMACIÓN TÉCNICA DE BOMBAS GOULDS MODELO 3175
APÉNDICE J	INFORMACIÓN DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

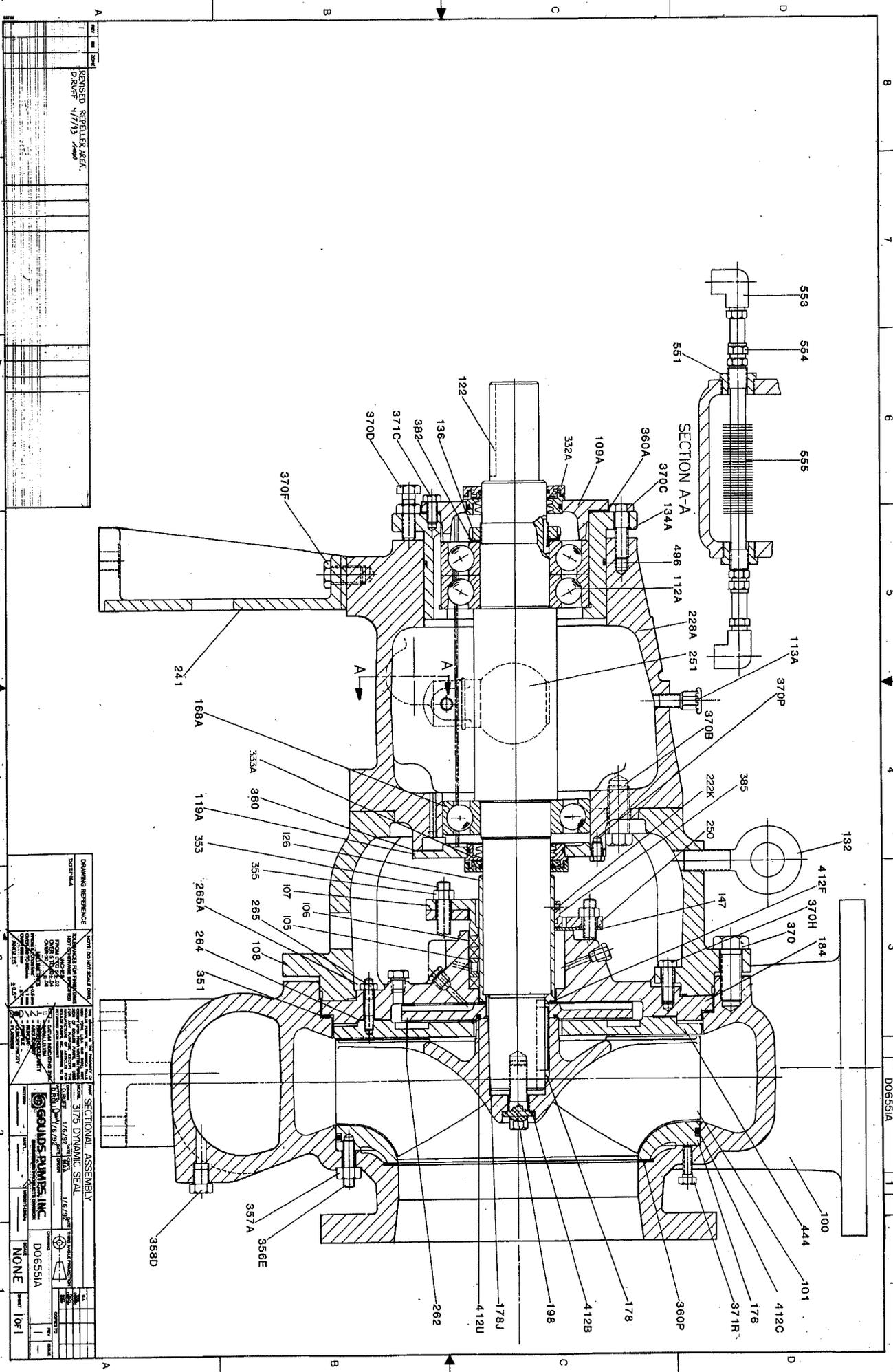
PLANOS

BIBLIOGRAFÍA

1. Carlos Parra, Implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) en un Sistema de Producción, Sevilla – España, 2005.
2. Centro Nacional de la Producción Más Limpia, Manual de Introducción a la Producción Más Limpia en la Industria, ICOTEC. 2005
3. Chesterton, The New Standard for Reliability, Manual del Sello, USA - 1982.
4. Douglas C. Montgomery y George C. Runger, Probabilidad y Estadística aplicadas a la ingeniería, Mc Graw Hill.
5. Goulds Pumps, Inc; Instrucciones de Instalación, manejo y mantenimiento, Modelo 3175, USA.

6. ITT Industries, MANUAL DE BOMBAS GOULDS GPM8, USA – 2004.
7. James P. Casey, Pulpa y Papel, Química y Tecnología química, Volumen II, Limusa 1991.
8. Jezdimir Knezevic, Mantenibilidad, Isdefe, España - 1996.
9. Jezdimir Knezevic, Mantenimiento, Isdefe, España - 1996.
10. Joel A. Nachlas, Fiabilidad, Isdefe, Madrid - 1995.
11. John Moubray, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II, Aladon, USA - 2004.
12. La Llave S.A., Estudio de retorno de inversión “Proyecto Piso Seco”, Papelera Nacional, Ecuador-2003.
13. Leandro Daniel Torres, Mantenimiento Implementación y Gestión, 2da Edición, Universitas 2005.
14. Lourival Augusto Tavares, Administración Moderna de Mantenimiento, Novo Polo Publicación, Brasil - 2000.

15. Luis Améndola, Modelos Mixtos de Confiabilidad, Valencia, España - 2002.
16. National Aeronautics and Space Administration NASA, Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment, USA – 2000.
17. Pedro Fernández Díez, Bombas Centrifugas y Volumétricas, libros.redsauce.net.
18. SAE Internacional, Criterios de Evaluación del Proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability Center Maintenance, RCM), Normas SAE JA1011, USA - 1999.
19. SAE Internacional, Guía para Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), Normas SAE JA1012, USA - 2002.
20. Technical Information Sheets TAPPI, Tappi Press, Atlanta – Georgia, USA – 1995.



REV	DATE	DESCRIPTION
1	1/17/73	REVISED REPELLER AREA D.RUFF

SECTIONAL ASSEMBLY
3175 DYNAMIC SEAL
1/8/72

SOUNDS PUMPS, INC.
1/8/72

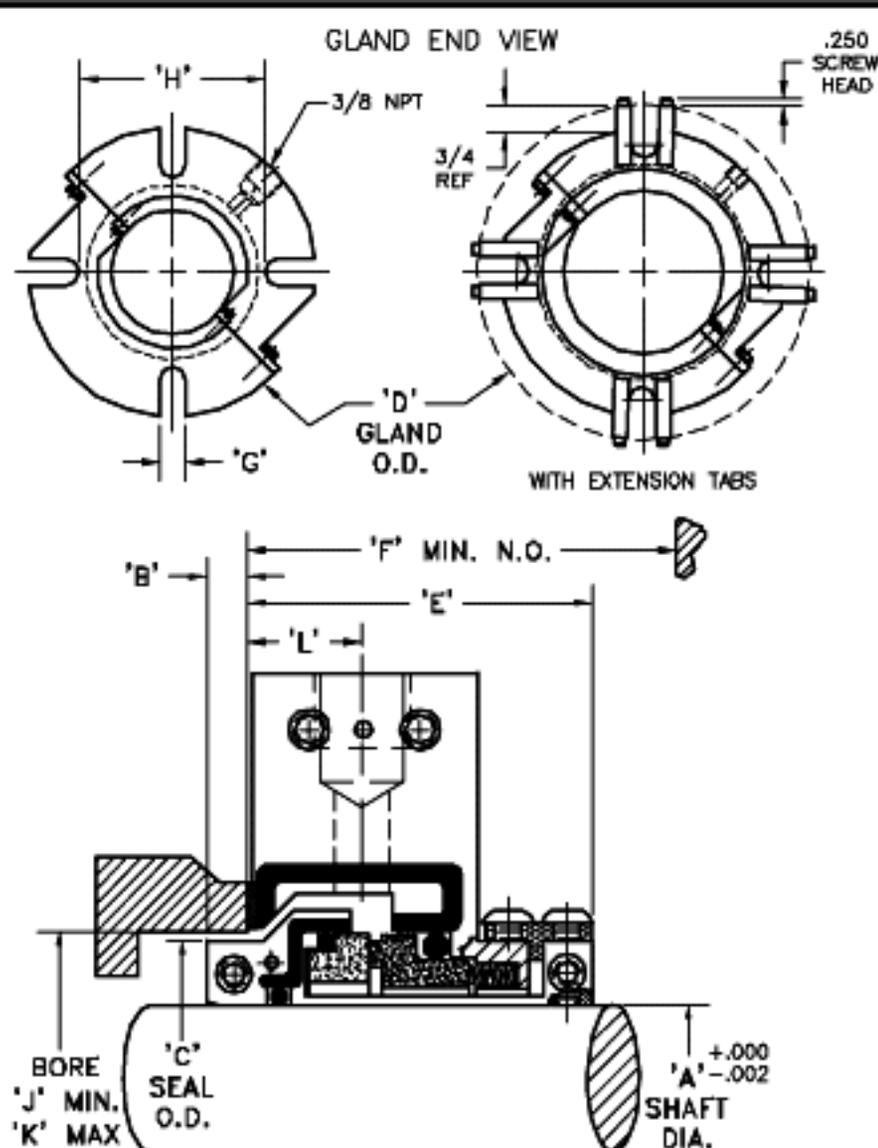
DOUGLASSIA
NONE
1 OF 1

DRAWING REFERENCE
THIS DRAWING IS FOR THE PUMP ASSEMBLY
DRAWING NO. 3175 DYNAMIC SEAL
DATE 1/8/72
DRAWN BY D.RUFF
CHECKED BY J. J. JONES
APPROVED BY J. J. JONES

SIZE	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
-24	1.500	.250	2.187	5.25	2.125	2.500	.562	3.125	2.250	2.625	.656
-27	1.687	.250	2.437	5.50	2.125	2.500	.562	3.375	2.500	2.875	.656
-28	1.750	.250	2.437	5.50	2.125	2.500	.562	3.375	2.500	2.875	.656
-30	1.875	.250	2.562	5.50	2.125	2.000	.562	3.344	2.625	3.000	.656
-31	1.937	.250	2.625	5.44	2.125	2.500	.582	3.563	2.687	3.125	.656
-32	2.000	.250	2.687	5.44	2.125	2.000	.562	3.563	2.750	3.125	.656
-34	2.125	.250	2.812	6.00	2.125	2.500	.687	3.688	2.875	3.375	.656
-35	2.188	.250	2.937	6.25	2.125	2.500	.687	3.813	3.000	3.375	.656
-36	2.250	.250	3.062	6.25	2.125	2.500	.687	3.937	3.125	3.500	.656
-38	2.375	.250	3.188	6.25	2.125	2.500	.687	4.062	3.250	3.500	.656
-39	2.438	.250	3.188	6.44	2.125	2.500	.687	4.125	3.375	3.625	.656
-40	2.500	.250	3.188	6.44	2.125	2.500	.687	4.125	3.375	3.625	.656
-42	2.625	.250	3.347	6.44	2.125	2.500	.687	4.438	3.500	3.875	.656
-43	2.688	.250	3.562	7.82	2.125	2.500	.687	4.438	3.625	4.125	.656
-44	2.750	.250	3.562	7.82	2.125	2.500	.687	4.438	3.625	4.125	.656
-46	2.875	.250	3.687	7.82	2.125	2.500	.687	4.812	3.812	4.250	.656
-47	2.938	.250	3.812	7.88	2.125	2.500	.687	4.938	3.937	4.375	.656
-48	3.000	.250	3.812	7.88	2.125	2.500	.687	4.938	3.937	4.375	.656
-52	3.250	.281	4.188	8.25	2.437	2.812	.812	5.188	4.250	4.750	.812
-54	3.375	.281	4.312	8.25	2.437	2.812	.812	5.313	4.375	4.875	.812
-55	3.438	.281	4.437	8.50	2.437	2.812	.812	5.437	4.500	5.000	.812
-56	3.500	.281	4.437	8.50	2.437	2.812	.812	5.437	4.500	5.000	.812
-58	3.625	.281	4.562	8.63	2.437	2.812	.812	5.562	4.625	5.125	.812
-60	3.750	.281	4.825	8.82	2.437	2.812	.812	5.888	4.887	5.125	.812
-62	3.875	.281	4.812	8.82	2.437	2.812	.812	5.813	4.875	5.250	.812
-64	4.000	.281	4.937	8.82	2.437	2.812	.812	5.813	5.000	5.375	.812
-68	4.250	.281	5.188	9.25	2.437	2.812	.812	6.063	5.250	5.750	.812
-70	4.375	.281	5.312	9.25	2.437	2.812	.812	6.437	5.375	5.875	.812
-72	4.500	.281	5.406	9.69	2.437	2.812	.812	6.500	5.500	6.000	.812
-76	4.750	.281	5.656	9.75	2.437	2.812	.812	6.938	5.750	6.250	.812
-79	4.938	.375	6.188	*10.75	3.062	3.812	.937	7.312	6.312	6.750	.923
-80	5.000	.375	6.188	*10.75	3.062	3.812	.937	7.312	6.312	6.750	.923
-82	5.125	.375	6.375	*11.00	3.062	3.812	.937	7.812	6.500	7.250	.923
-84	5.250	.375	6.375	*11.00	3.062	3.812	.937	7.812	6.500	7.250	.923
-88	5.500	.375	6.888	*11.50	3.062	3.812	.937	7.813	6.812	7.375	.923
-92	5.750	.375	6.938	*12.00	3.062	3.812	.937	8.156	7.062	7.625	.923
-96	6.000	.375	7.188	*12.25	3.062	3.812	.937	8.437	7.312	7.875	.923
-100	6.250	.375	7.438	*12.50	3.062	3.812	.937	8.656	7.562	8.125	.923
-104	6.500	.375	7.688	*12.25	3.062	3.812	.937	8.813	7.812	8.375	.923
-108	6.750	.375	7.938	*12.50	3.250	4.000	.937	9.312	8.062	8.625	.923
-112	7.000	.375	8.188	*12.75	3.250	4.000	.937	9.562	8.312	8.750	.923
-136	8.500	.375	9.688	14.25	3.250	4.000	1.000	11.000	9.812	10.250	.923

(*) SIZES USE EXTENSION SLOT TABS

REV	ECN#	DATE	REV BY
1	023	10/23/95	R.B.
2	451	3/7/98	B.P.
3	967	6/13/01	B.P.
4	1191	8/8/02	B.P.
5	1209	2/19/03	B.P.
6	1684	9/20/05	B.P.
7	1725	3/22/06	B.P.



STYLE 85

STATIONARY MULTI-SPRING
FULLY SPLIT CARTRIDGE SEAL
U.S. PATENT NO. 5662340

FLEX-A-SEAL, INC
P.O. BOX 184/ 1 JACKSON ST.
ESSEX JUNCTION, VT 05453
(802)878-8307

SK1057

REV. 7