

**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

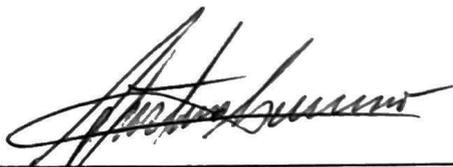
## **AGRADECIMIENTO**

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



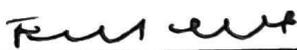
---

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 POLITÉCNICA DEL LITORAL”

A handwritten signature in black ink, enclosed within a large, loopy oval shape. The signature is stylized and appears to read 'Henry Rubén Bajaña Morante'.

---

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

<b>1. PROBLEMA DE PÈRDIDA DE PRODUCTIVIDAD Y COSTOS POR MANTENIMIENTO.....</b>	<b>9</b>
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

<b>2. MEJORAS AL SISTEMA DE SELLADO.....</b>	<b>61</b>
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**

<b>3. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE SELLADO.....</b>	<b>104</b>
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**

<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>152</b>
-----------------------------------------------	------------

### **APÉNDICES**

### **BIBLIOGRAFÍA**

## ABREVIATURAS

DKL:	Double Kraft Liner
F:	Función de probabilidad
FC:	Factor de conversión
g/m <sup>2</sup> :	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 <sub>H2O</sub> :	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 <sup>2</sup> :	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 <sup>2</sup> :	metros cuadrados
mg/l:	miligramos por litro
m <sup>3</sup> :	metros cúbicos

m <sup>3</sup> /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
$\beta$ :	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.
$\pi$ :	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
$\varepsilon$ :	Rugosidad (Ft)
$\eta$ :	vida característica
R:	Confiabilidad del equipo
t:	Intervalo de tiempo
$\Gamma$ :	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° I.1.	Vista panorámica de Papelera Nacional.....	3
Figura N° I.2.	Materia prima DKL y OCC respectivamente.....	7
Figura N° I.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 m<sup>2</sup> donde 19.265,0 m<sup>2</sup> 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.**

<b>POTENCIA INSTALADAS EN PLANTA</b>		
<b>DESCRIPCION</b>	<b>HP</b>	<b>KW</b>
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
<b>Total</b>	<b>15.775,41</b>	<b>21.146,66</b>

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

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

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

**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  $\text{gr/m}^2$ , para la producción de cajas de cartón con mayor resistencia al aplastamiento y apilamiento; papel Test Liner desde 127 hasta 270  $\text{gr/m}^2$ , para la producción de cajas con propiedades estructurales o auto soportadas para uso interno del contenido embalado; papel Extensible desde 95 hasta 110  $\text{gr/m}^2$ , 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/m<sup>2</sup>, usados como núcleos para la envoltura de papel en la rebobinadora.

Ver [Figura Nº 1.3\(a, b y c\)](#)



(1.3 a)



(1.3 b)



(1.3 c)

**FIGURA Nº 1.3:** 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](#).

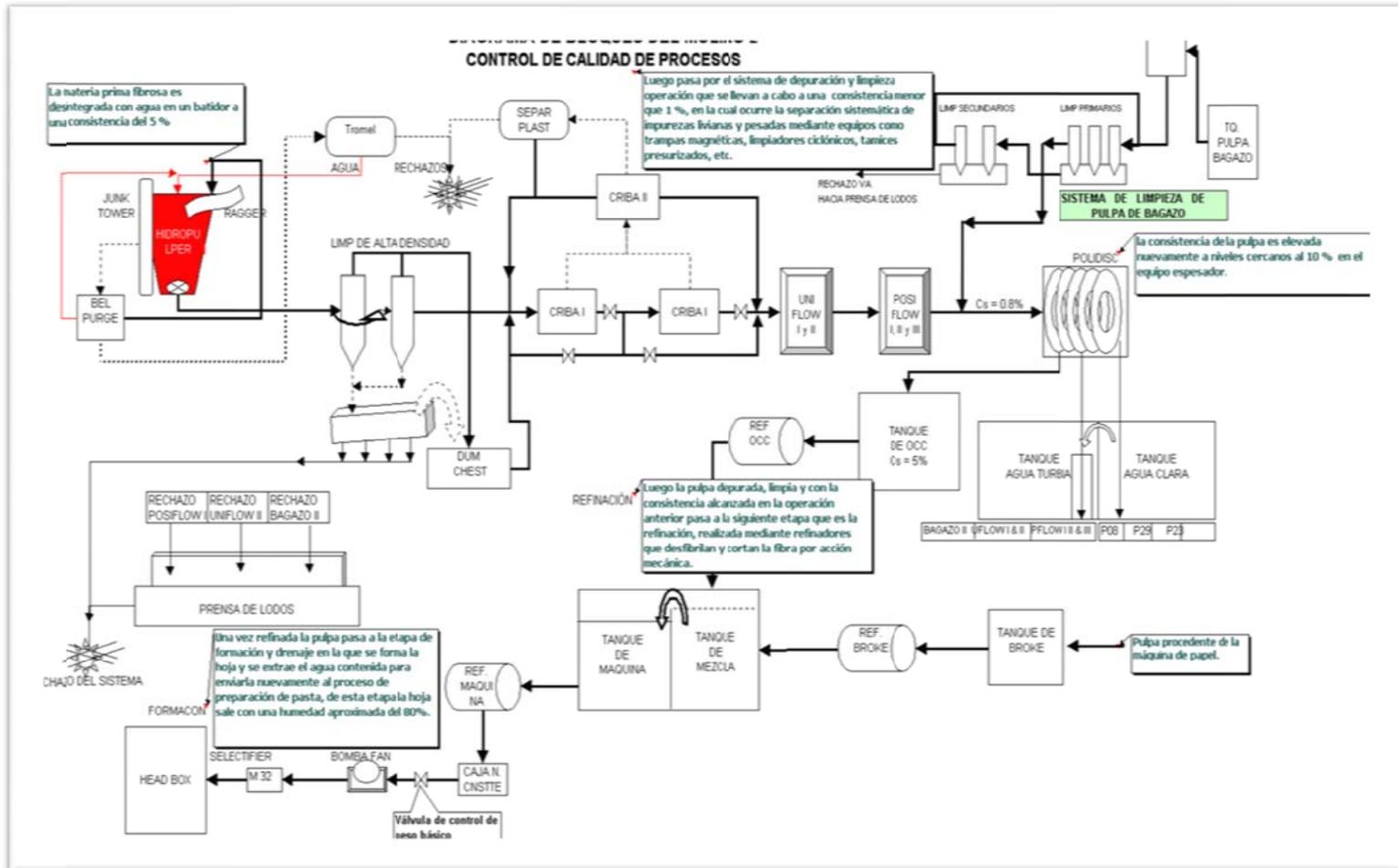


Figura N° 1.1: Diagrama de bloques de preparación de pulpa molino 2



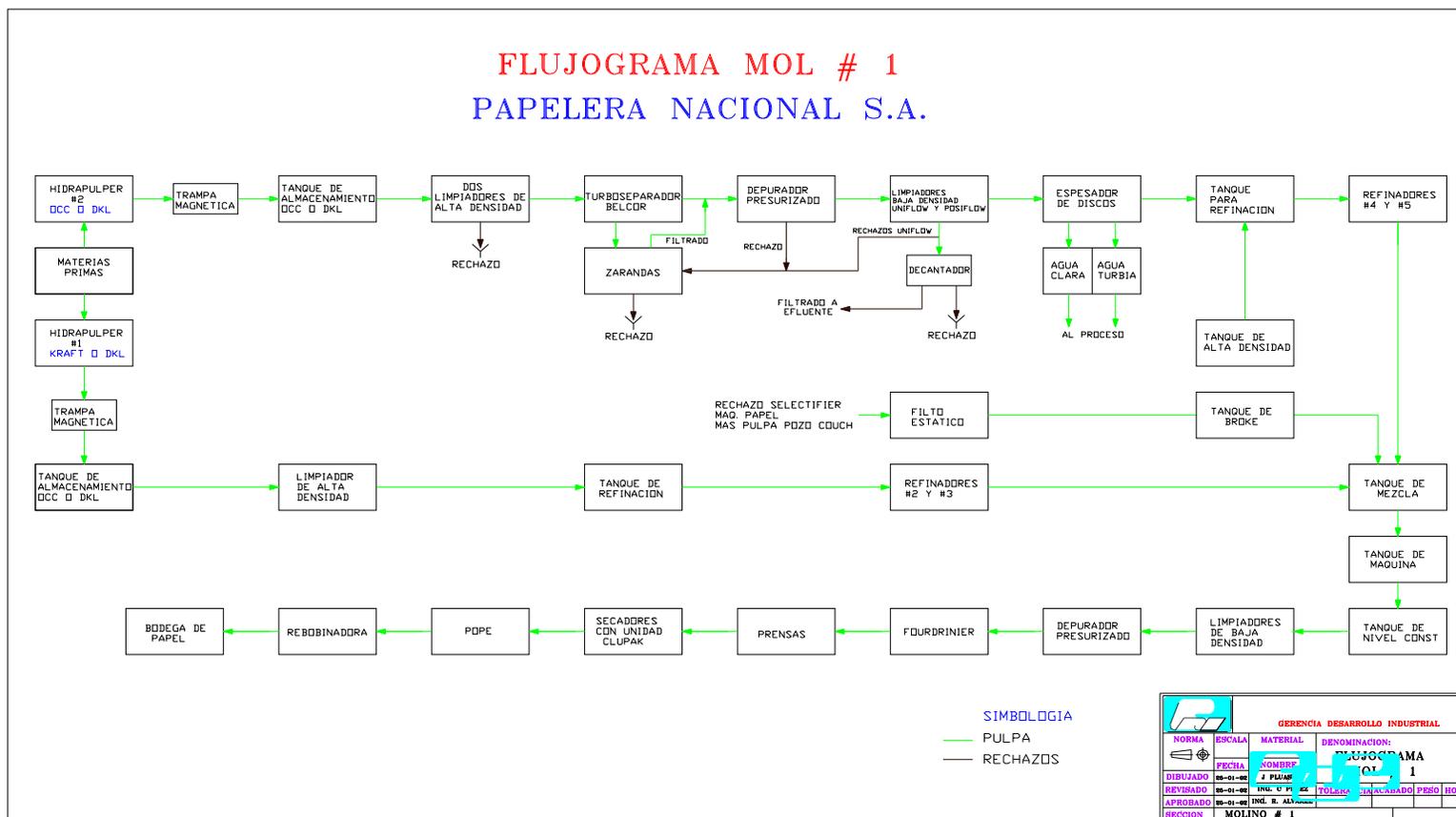
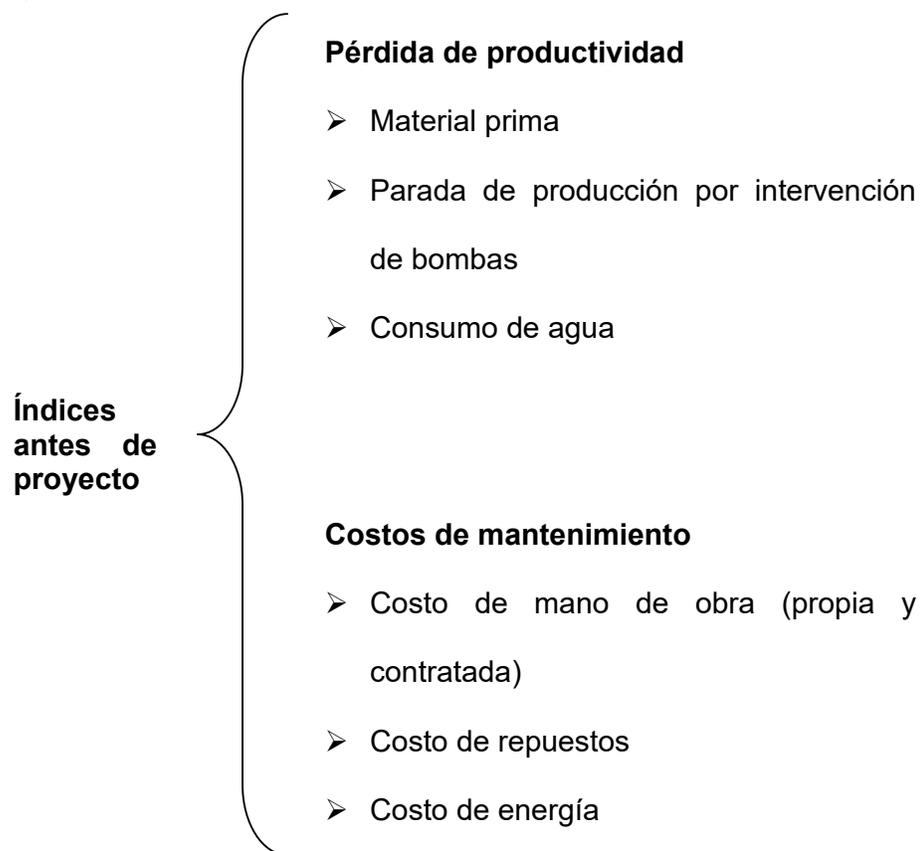


Figura N° 1.3: Flujoograma de proceso máquina de papel molino 1

## 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.”*

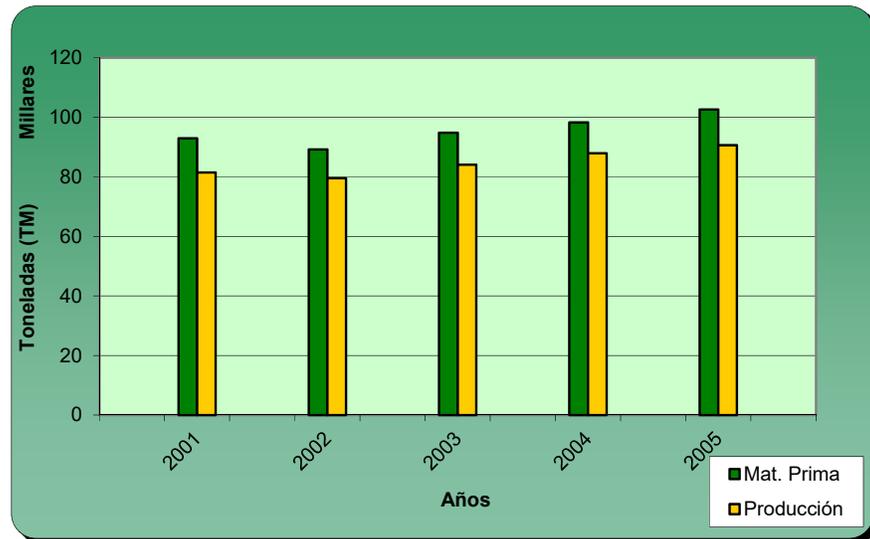
En la mayoría de los casos de los parámetros medidos para cuantificar las condiciones iniciales del proyecto, todos ellos están relacionadas con la productividad, ósea en las toneladas de papel producidas, por lo tanto si se incrementan los costos, se incrementa los recursos de entrada y por lo tanto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

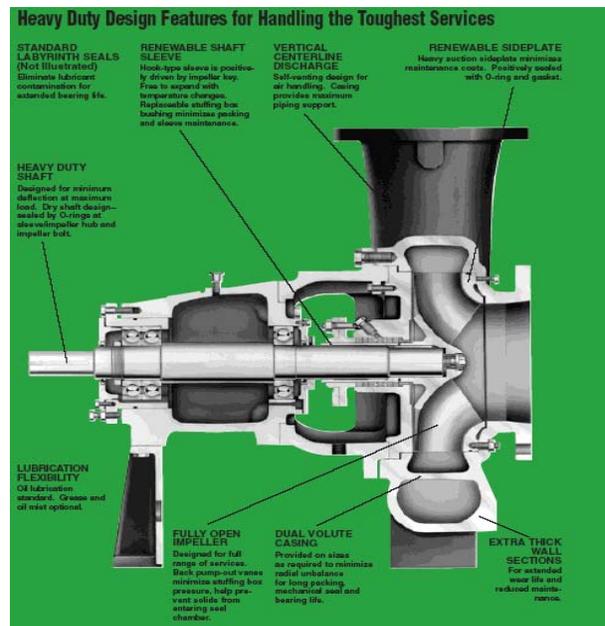
COSTO POR MANO DE OBRA				
CÓDIGO EQUIPO	EQUIPO	Nº INTERVENCIONES	COSTO	COSTO
		AÑO	INTERVENC./Uni	INTERVENC.
		prom	USD	USD/AÑO
81B 13	Bomba princ.del Hidropulper (P-02)	3	150.00	450.00
83 B 11	Bomba del Bel Purge (P-01)	1	150.00	150.00
832 B 10	Bomba Primaria Depuración Bagazo	2	150.00	300.00
832 B 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
			<b>COSTO DE MANO OBRA (USD/Año)</b>	<b>11,790.00</b>

**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.

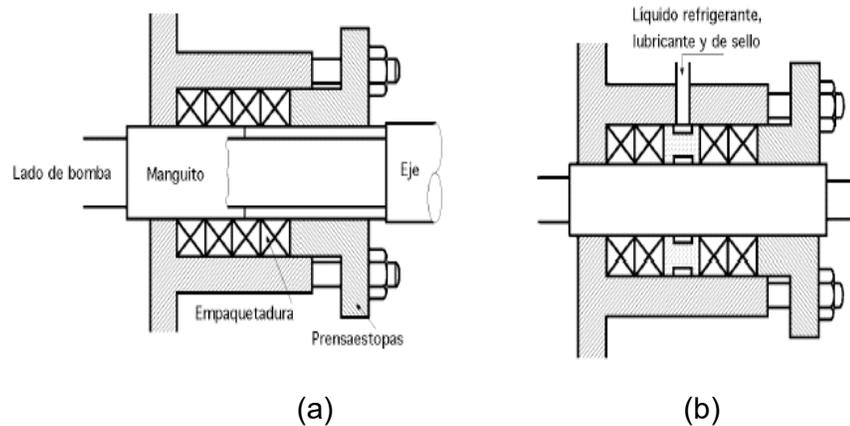
**Rodamientos (bearings).**- Son los elementos principales de un equipo de bombeo, porque sin ellos sería imposible generar el flujo de pasta para el proceso. Este sistema de rodadura es normalmente limitado a operar para el tiempo de vida para el cual fue construido al ser afectado por una mala lubricación 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.

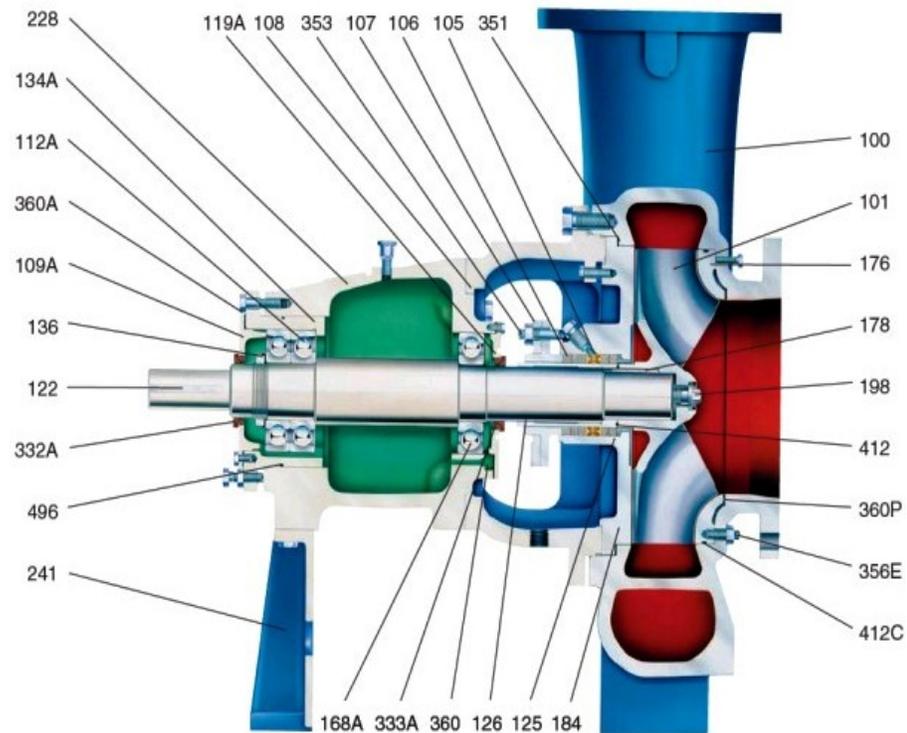
- **Prensaestopa (gland, packed box).**- Está compuesta por lo general de dos anillos circulares partidos, y que por su estructura es uno de los elementos más sencillos para el montaje e instalación como así del mantenimiento de las bombas, pero con limitantes que hoy en día son muy predominante para 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
<b>SUB-TOTAL (USD)</b>		<b>9,038.41</b>	<b>9,839.06</b>	<b>6,135.75</b>	<b>11,773.80</b>
		<b>TOTAL REPUESTOS(USD/AÑO)</b>			<b>36,787.02</b>

**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):

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

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](#).

<b>EVALUACIÓN DE DERRAME DE PULPA</b>		
<b>CÓDIGO</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>PÉRDIDA DE PULPA [GPM]</b>
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
<b>VALOR PROMEDIO (GMP)</b>		<b>0.76</b>

**Tabla N° 1.9.** Evaluación de derrame año 2002

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

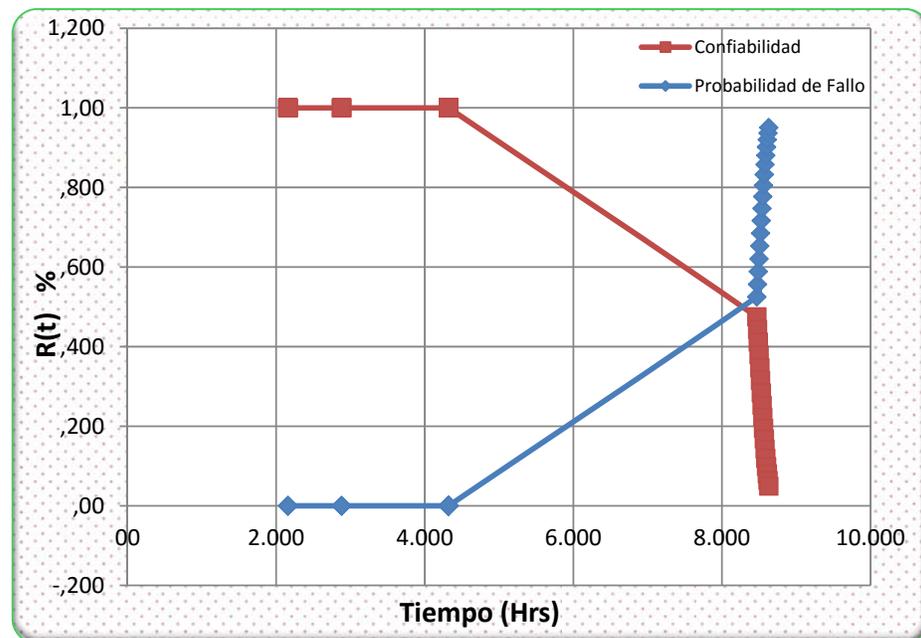
El tiempo medio entre reparaciones (TMER) de las bombas de pulpa de papel antes del proyecto, en nuestro caso está dada en la siguiente [tabla N° 1.11.](#), el cual será uno de los índices comparativos del caso, para evaluar la mejora obtenida con los cambios realizados.

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

<b>COSTOS ECONÓMICOS</b>	
<b>DESCRIPCION DE LOS COSTOS</b>	<b>COSTO (USD /AÑO)</b>
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
<b>AFECTACIONES AMBIENTALES</b>	
CONSUMO DE AGUA (GPA)	38,966,400.0
CONTAMINACION AMBIENTAL	CRITICO
ASPECTO FISICO DEL ÁREA	MALA
<b>ÍNDICE DE MANTENIMIENTO</b>	
TMER (MESES)	7.25
DISPONIBILIDAD (%)	99.82
CONFIABILIDAD (%)	ND
MANTENIBILIDAD	BUENA
<b>COSTOS PROMEDIOS ANUALES</b>	<b>144,467.18</b>

**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](#).

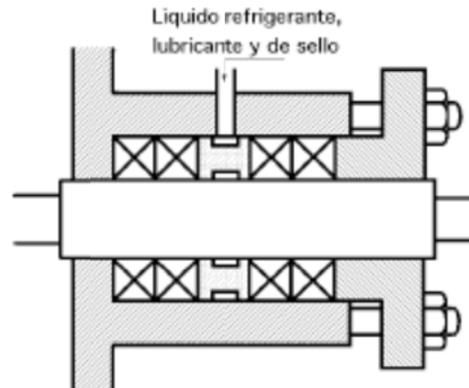
Normalmente vienen construido con material auto-lubricado para mantener en condiciones de buena lubricidad el sistema de sellado

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/cm<sup>2</sup>,

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

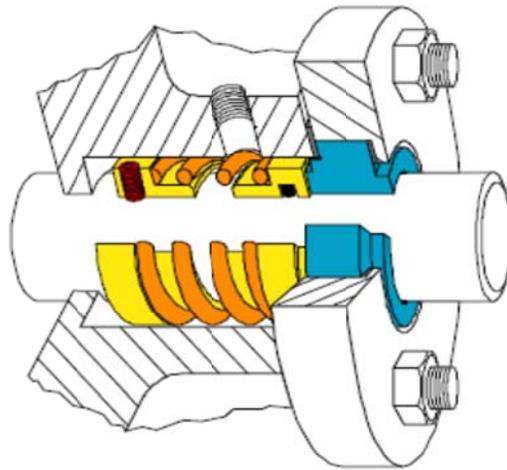
La principal desventaja de estos sellos es su mayor costo inicial y el hecho de que una vez que empiezan a fugar líquido no hay forma de cortar la fuga, sino programar su cambio. Para ello se necesita parar la unidad y repararlo y/o cambiarlo en donde el tiempo de su intervención es mayor que si se tendría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

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

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

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

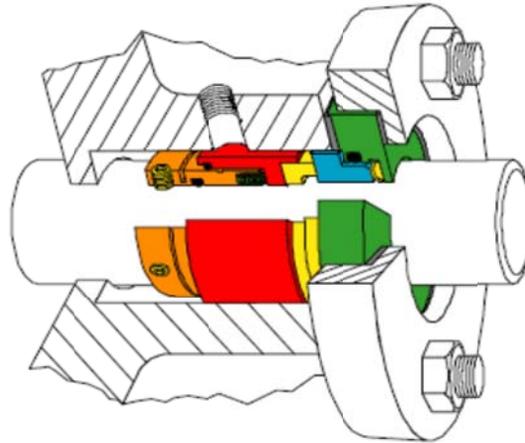
- Pocas Alternativas en Materiales
- Rangos de Temperatura reducidos.
- Rango de Presión reducido
- Bajas Velocidades Periféricas
- Tendencia a Taponamiento de Resortes
- Tendencia a Desgaste de Eje
- Generación de altas Temperaturas
- Caras de Perfil ancho
- Niveles altos de Emisiones Fugitivas
- Sello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



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

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

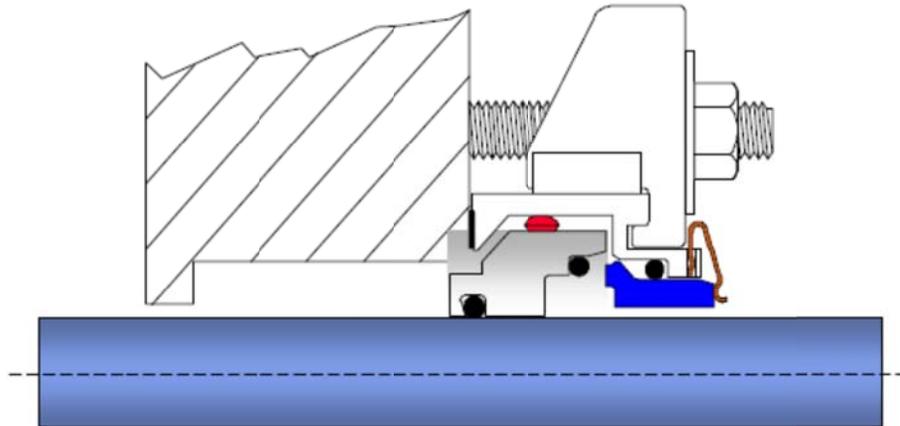
- Caras de Perfil más bajo montadas en Canastilla
- Balanceados
- No Taponamiento de Resortes
- No Desgaste de Eje
- Menores Costos de Energía
- Menor Desgaste de Caras
- Menor Generación de Temperatura
- Mayor Rango de Presión
- Mayor Selección de Materiales
- Mayores Rangos de Temperatura
- Mayor Velocidad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



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

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

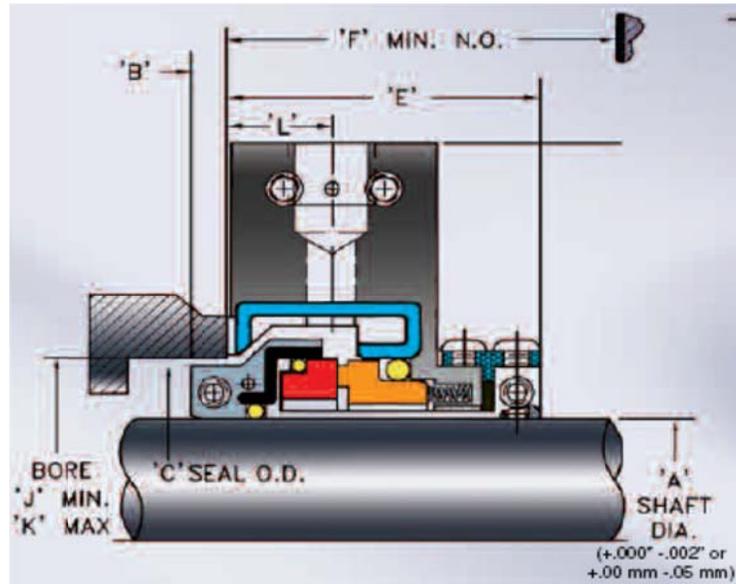
- Caras Monolíticas de Bajo Perfil
- Balanceados (Simples)
- Doblemente Balanceados (Dobles)
- No Taponamiento de Resortes
- No Desgaste de Eje
- Resortes por fuera del Fluido
- Menor Consumo de Energía
- Mayor TMER
- Acorde con Expectativas de Mantenimiento
- Acorde con Expectativas de OEM (*original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



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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Dónde:**

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

**Consecuencia** = (Impacto Operacional x Flexibilidad)+Costo de Mantto+Impacto SAH ec. 2.2

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

### EVALUACIÓN CAULITATIVA DEL RIESGO

**Criticidad Total = Frecuencia de Falla x Consecuencia**

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

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

**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.

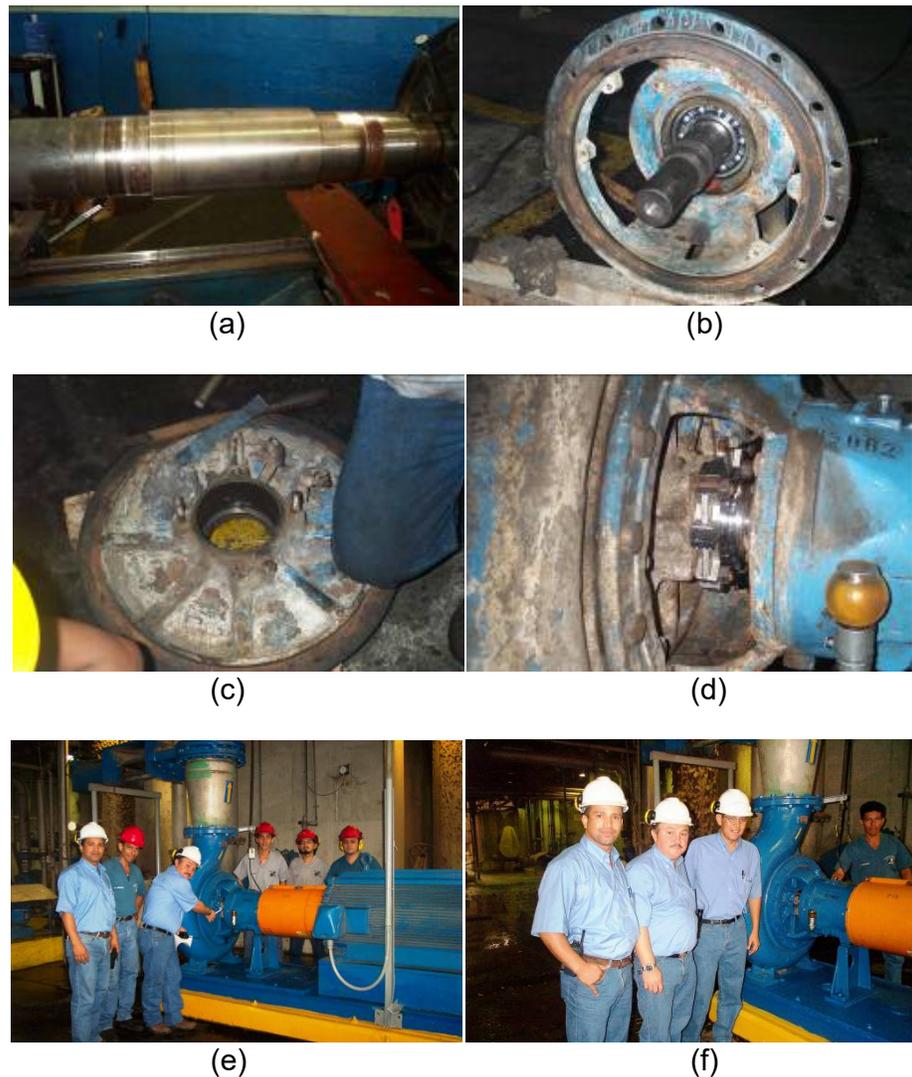
Básicamente la prueba que se lleva a cabo, fue netamente de observación, donde se describe a continuación en la siguiente [tabla N° 2.4.](#)

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

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

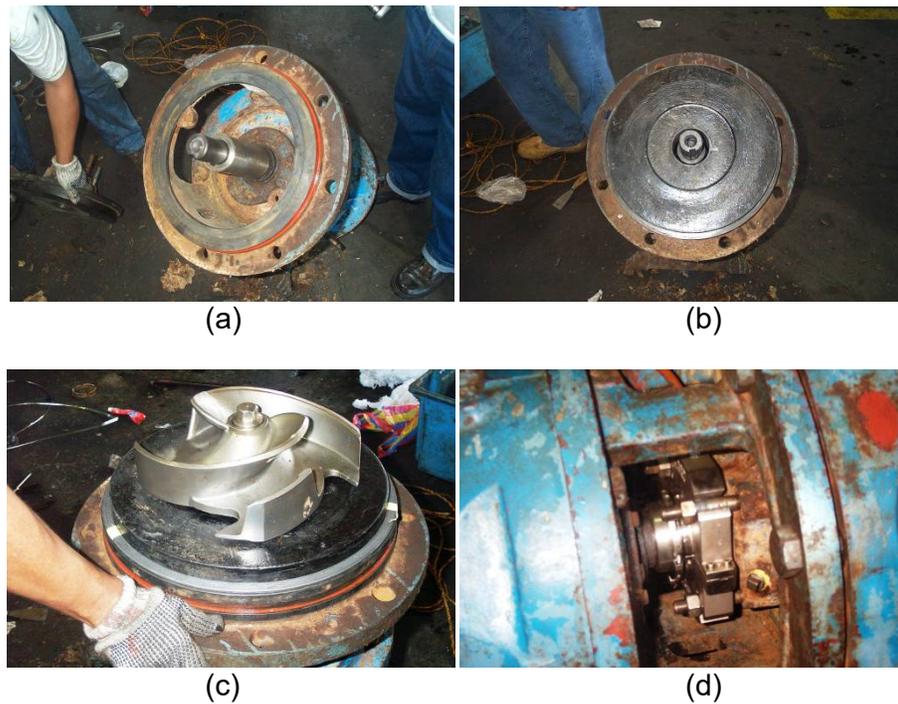
**Momentos especiales en el proceso de implementación de la mejora**

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



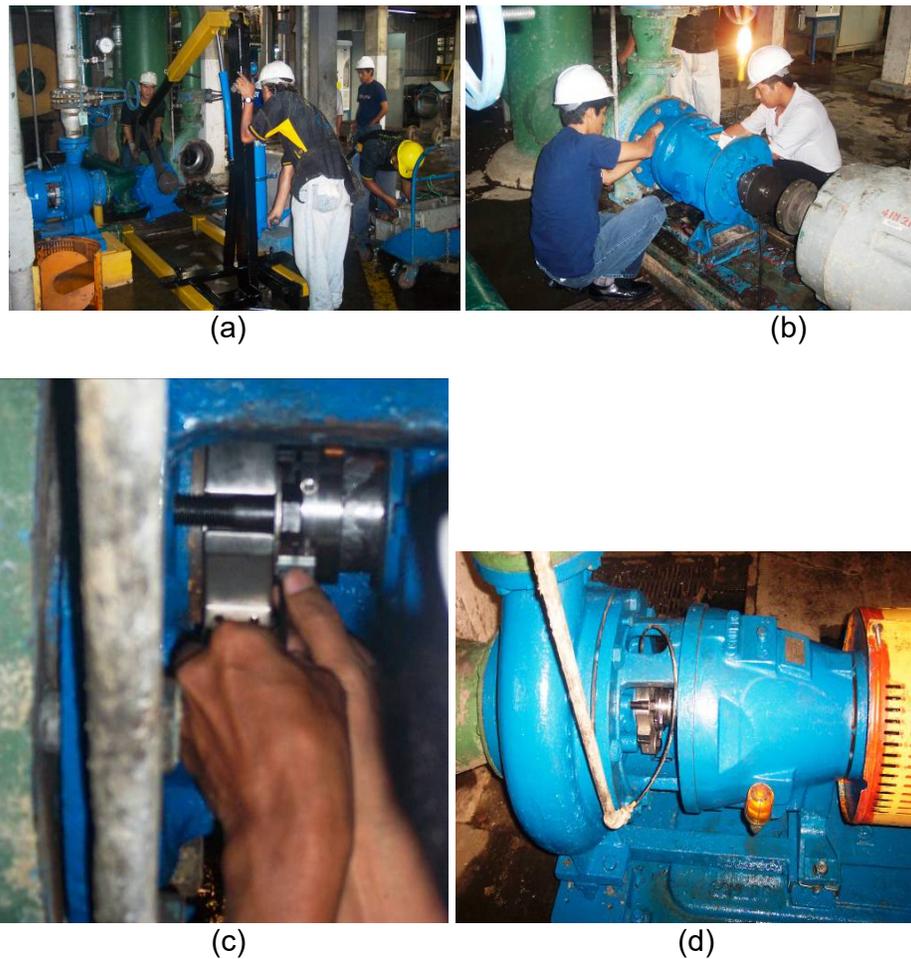
**Figura N° 2.6:** Proceso de mejora bomba limpiadores primarios posiflow P15.

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
<b>Sub-total:</b>	<b>\$ 3,692.43</b>

**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<sup>da</sup> etapa del proyecto.

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

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

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

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

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

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

**P** PROGRAMADO

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

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

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

E EJECUTADO    
P PROGRAMADO    
R REPROGRAMADO

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

CRONOGRAMA DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE SELLADO EN MOLINO N° 1 (PLANIFICADO)														
CÓDIGO EQUIPO	EQUIPO	AÑO 2004						AÑO 2005					AÑO 2006	
		ABRIL	JUNIO	JULIO	SEPT.	NOV.	DIC.	ENER.	FEBR.	MARZ.	ABRIL	NOV.	ENER.	FEBR.
21B17	Bomba del Hidropulper # 2													P
21B13-1	Bomba del Hidropulper #1 Kraft						P							
23B111-1	Bomba principal dump chest *													P
<del>23B241</del>	<del>Bomba tanque de broke *</del>							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 ceros 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).

**Figura N° 3.1:** Disponibilidad promedio de equipos de bombeo

**Tiempo medio para la Falla (TMPF) de equipos de bombeo**

El tiempo medio para la falla (TMPF), es la relación entre el tiempo total de operación de un conjunto de ítems no reparables y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo observado.

Está dada por la siguiente ecuación:

$$\boxed{\phantom{\text{Equation 3.3}}}$$

ec. 3.3

**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
<b>TMPF M2</b>							<b>22,437.1</b>	<b>31.2</b>

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
<b>TMPF M1</b>							<b>25,363.5</b>	<b>35.2</b>

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.

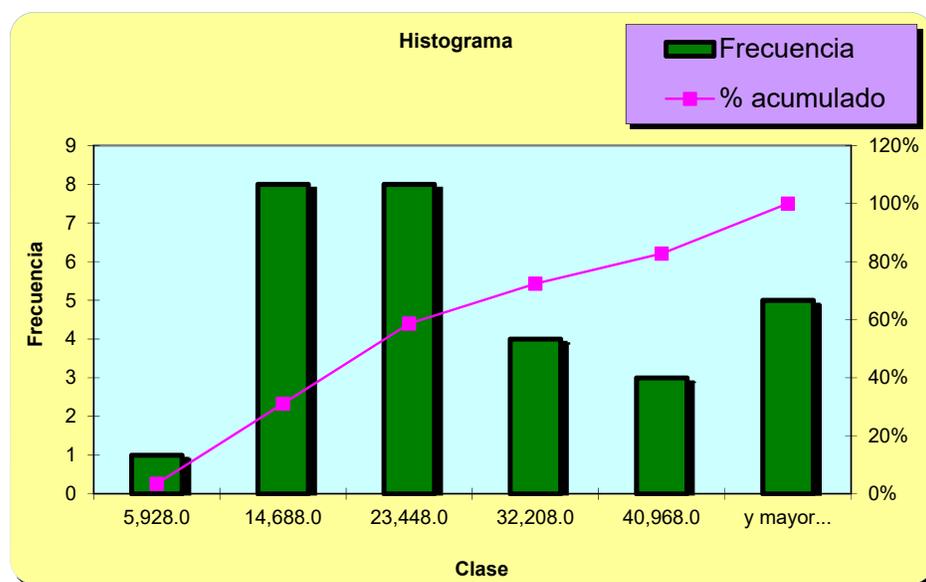
N°	EQUIPOS M1 y M2	TMPF [Hrs]
1	Bomba del Hidropulper # 2	33,864.0
2	Bomba del Hidropulper #1 Kraft	16,824.0
3	Bomba principal dump chest *	13,872.0
4	Bomba # 1 agua blanca norte (nueva)	36,552.0
5	Bomba # 2 agua blanca sur (nueva)	13,272.0
6	Bomba al selectifier	44,328.0
7	Bomba limpiador primario uniflow	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:

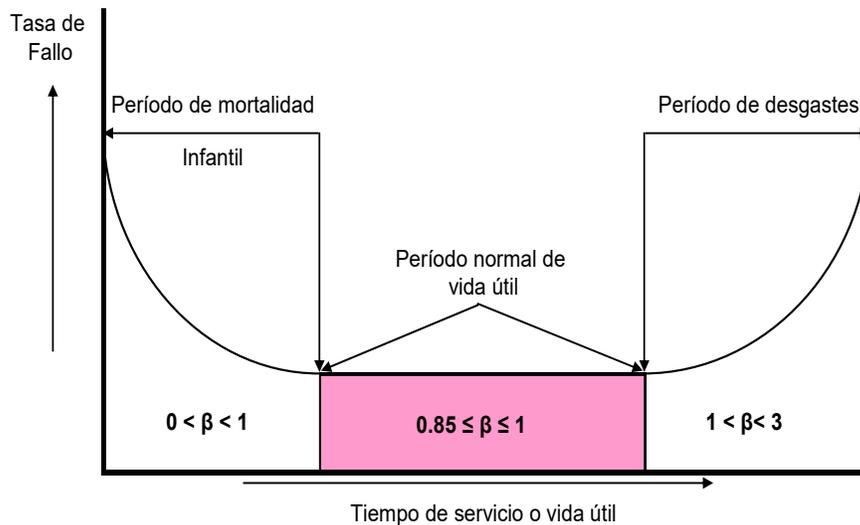
$$R(t) = e^{-[t/\eta]^\beta} \quad \text{ec. 3.4}$$

**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.
- $\eta$ : vida característica, se calcula en función del tiempo promedio operativo (TMPF).
- $\beta$ : 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  $\beta$  por arriba de 1, indican que el equipo está comenzando a desgastarse, valores de  $\beta$  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

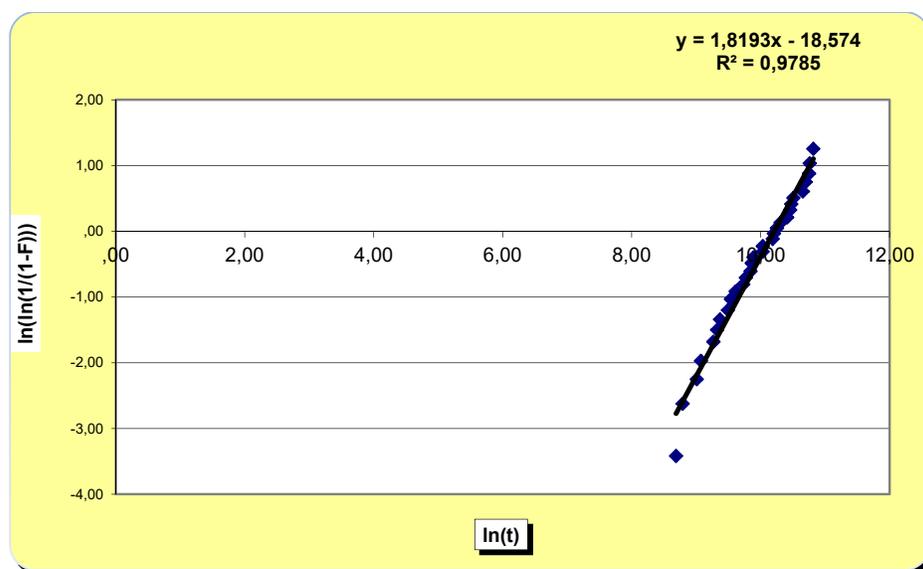
Por lo tanto tomando estos aspectos teóricos, en este proyecto unificando datos (molino 1 y molino 2) los resultados de confiabilidad se los calcula con el siguiente procedimiento.

Los parámetros que se desconocen de la ecuación 3.4, es la vida característica  $\eta$ , también conocida en la distribución de Weibull como el factor de escala y  $\beta$  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:

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

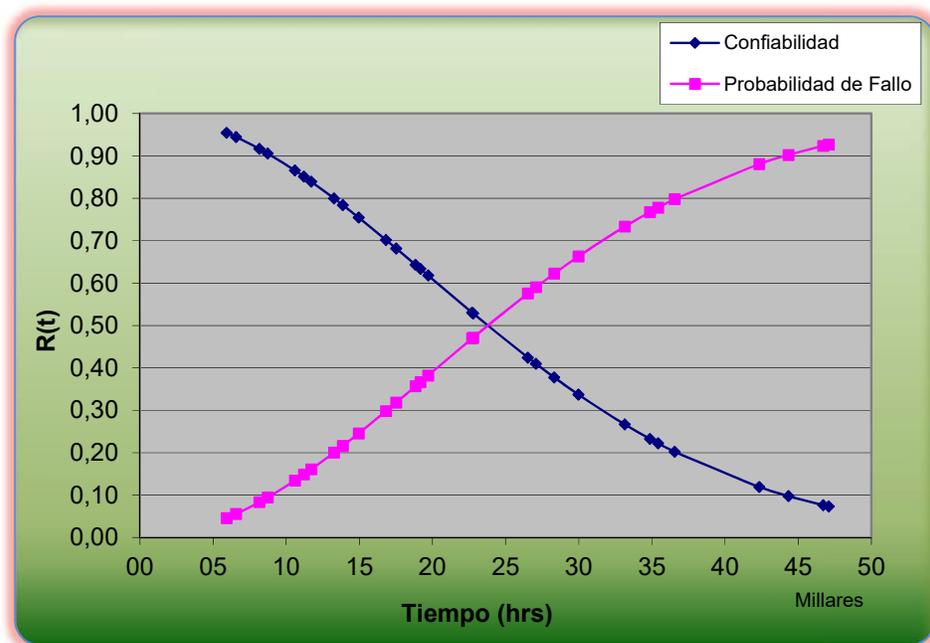
ec. 3.5.

**Dónde:**

$\Gamma$ : 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
<b>TOTAL (USD)</b>		<b>28,628.79</b>	<b>2.73</b>	<b>79,992.81</b>
<b>AHORRO NETO (USD/2.73 Año)</b>		<b>51,364.02</b>		

**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.

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

**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
<b>TOTAL (USD)</b>				<b>7,260.00</b>	<b>2.80</b>	<b>19,924.56</b>
<b>AHORRO NETO (USD/AÑO)</b>					<b>12,664.56</b>	
<b>COSTO REAL (USD/AÑO)</b>					<b>2,591.54</b>	

**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

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

<b>Factor de conversión anual</b>		
<b>TIPO DE PAPEL</b>	<b>FACTOR RENDIMIENTO</b>	
	<b>REAL</b>	<b>ESTAND.</b>
<b>TEST LINER</b>	1.11	1.12
<b>CORRUGADO MEDIO</b>	1.16	1.15
<b>EXTENSIBLE</b>	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.

<b>ÍNDICE DE CONSUMO DE ENERGIA (ICE)</b>		
<b>TIPO DE PAPEL</b>	<b>ENERGIA ELECTRICA (Kw-hr/Tm)</b>	
	<b>INDICE REAL</b>	<b>ESTANDAR</b>
<b>TEST LINER</b>	<b>478</b>	442.86
<b>CORRUGADO MEDIO</b>	<b>527</b>	476.19
<b>EXTENSIBLE</b>	<b>822</b>	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	<b>78,322.25</b>	101.5
2000	78,421.00	<b>80,382.60</b>	102.5
2001	80,269.00	<b>81,508.61</b>	101.5
2002	81,514.00	<b>79,514.47</b>	97.5
2003	79,994.00	<b>84,082.97</b>	105.1
2004	84,037.00	<b>87,930.58</b>	104.6
2005	89,698.00	<b>90,625.25</b>	101.0

Tabla N° 3.19; Producción Real vs Presupuestada

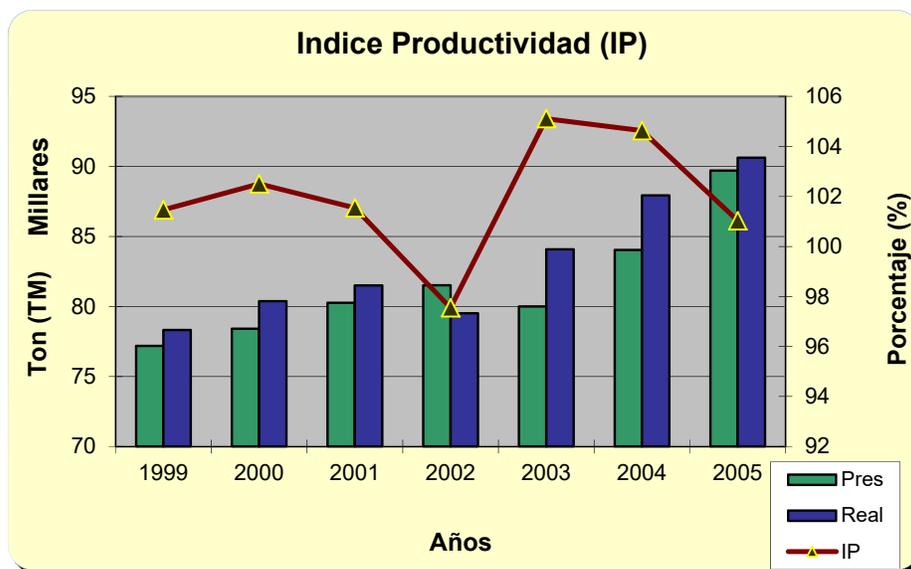


Figura N° 3.6: Comportamiento de la Productividad (IP).

**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 forzados programados e imprevistos.

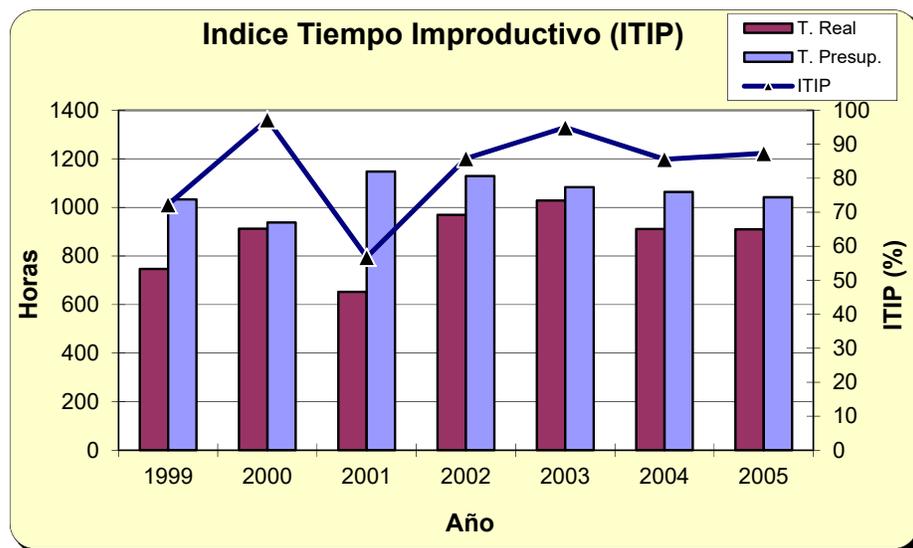
$$\text{ITIP} = \text{TI reales} / \text{TI pres.}$$

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 afluyente 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/m<sup>3</sup>, 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

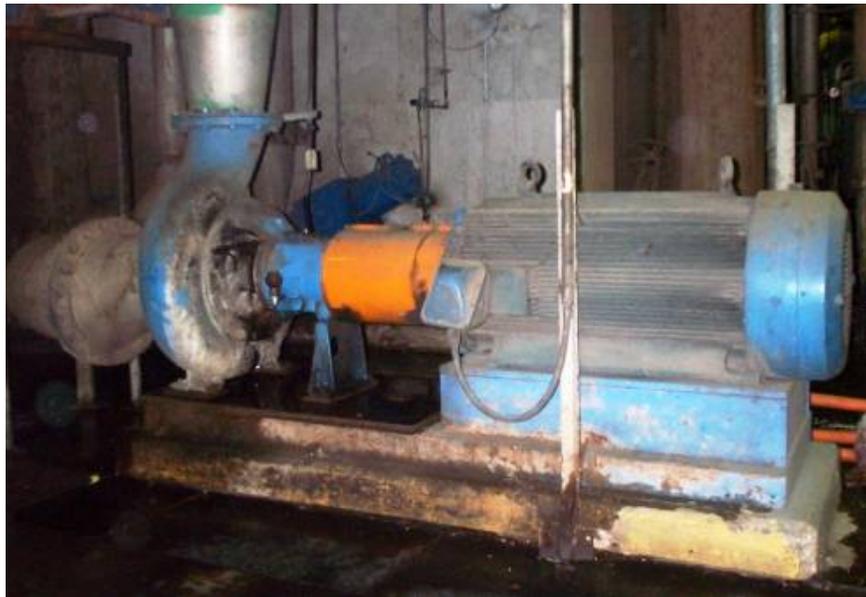
ahorros significativos a la empresa de **40,000.0 USD/año** aproximadamente por esta causa (los derrames).

**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

<b>RESULTADOS ECONOMICOS</b>				
<b>DESCRIPCION DE LOS BENEFICIOS</b>	<b>COSTO (USD /AÑO)</b>		<b>AHORRO</b>	<b>AHORRO</b>
	<b>ANTES</b>	<b>MEJORA</b>	<b>USD/AÑO 1</b>	<b>USD/AÑO 3</b>
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
<b>RESULTADOS AMBIENTALES</b>				
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		
<b>RESULTADOS TECNICOS</b>				
TMR (MESES)	7.25	33.55		
DISPONIBILIDAD (%)	99.82	99.97		
CONFIABILIDAD (%)	ND	MEJORADA		
MANTENIBILIDAD	BUENA	BUENA		
Índice DE CONVERSION	HISTORICO	MEJORADO		
<b>TOTAL DEL AHORRO ECONOMICO (USD)</b>			<b>143,860.98</b>	<b>383,005.92</b>

**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

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

$$\text{ROI} = 1.58$$

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

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.

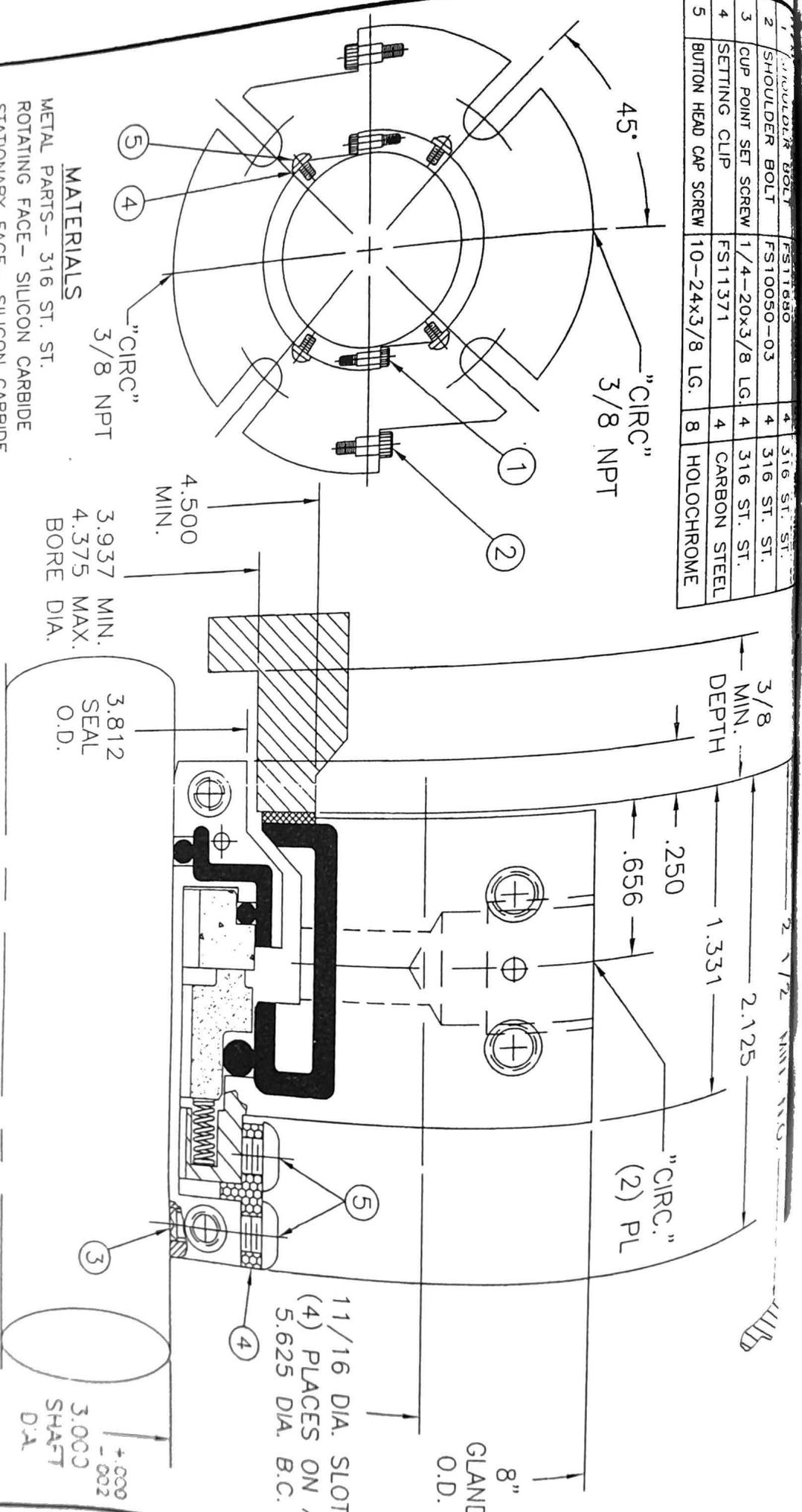
Para solucionar este problema de desgastes, se recomienda lo siguiente:

- 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).

## **PLANOS**



1	SHOULDER BOLT	FS11690	4	316 ST. ST.
2	SHOULDER BOLT	FS10050-03	4	316 ST. ST.
3	CUP POINT SET SCREW	1/4-20x3/8 LG.	4	316 ST. ST.
4	SETTING CLIP	FS11371	4	CARBON STEEL
5	BUTTON HEAD CAP SCREW	10-24x3/8 LG.	8	HOLOCHROME



MATERIALS  
 METAL PARTS- 316 ST. ST.  
 ROTATING FACE- SILICON CARBIDE  
 STATIONARY FACE- SILICON CARBIDE  
 ELASTOMER- VITON  
 SPRINGS- HAST C

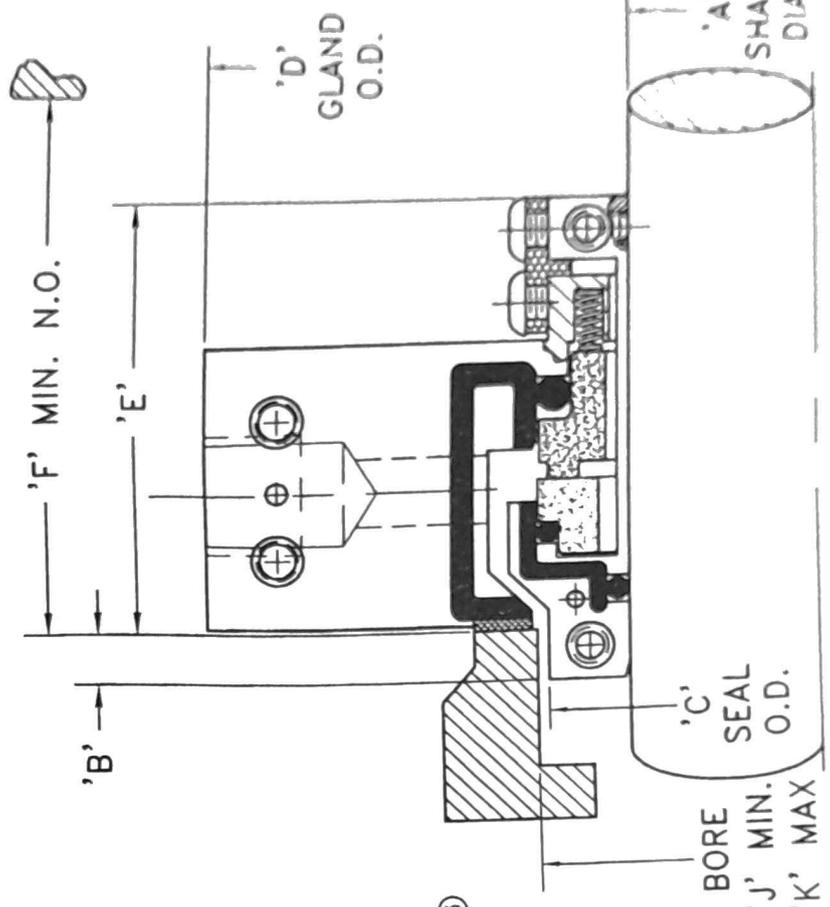
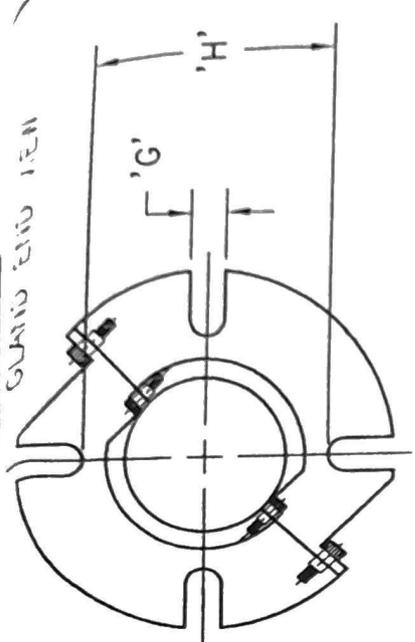
CUSTOMER: JOB# GS019183  
 LOCATION:  
 PRODUCT:  
 TEMP.:  
 DDFC11DF. GPFEN.

STYLE 85X STATIONARY  
 MULTI-SPRING FULLY SPLIT  
 CARTRIDGE SEAL WITH 2  
 CIRC. CONNECTIONS

U.S. PATENT NO. 5662340

**FLEX-A-SEAL, INC.**  
 P.O. BOX 184/ 1 JACKSON ST.  
 ESSEX JUNCTION, VT 05453  
 (802) 878-3307  
 DWG. NO.:  
 SIZE 3"  
 REV

GUARD END VIEW



-27	1.687	.250	2.437	5.500	2.125	2.500	.562	3.375	2.500	2.875
-28	1.750	.250	2.437	5.500	2.125	2.500	.562	3.375	2.500	2.875
-30	1.875	.250	2.562	5.500	2.125	2.500	.562	3.344	2.625	3.000
-31	1.937	.250	2.625	5.500	2.125	2.500	.562	3.563	2.687	3.125
-32	2.000	.250	2.687	5.500	2.125	2.500	.562	3.563	2.750	3.125
-34	2.125	.250	2.812	6.000	2.125	2.500	.687	3.688	2.875	3.375
-35	2.188	.250	2.937	6.250	2.125	2.500	.687	3.813	3.000	3.375
-36	2.250	.250	3.062	6.250	2.125	2.500	.687	3.937	3.125	3.500
-38	2.375	.250	3.187	6.250	2.125	2.500	.687	4.062	3.250	3.500
-39	2.437									
-40	2.500	.250	3.312	6.500	2.125	2.500	.687	4.125	3.375	3.625
-42	2.625	.250	3.347	6.500	2.125	2.500	.687	4.438	3.500	3.875
-44	2.750	.250	3.562	7.812	2.125	2.500	.687	4.438	3.625	4.125
-46	2.875									
-48	3.000	.250	3.812	7.875	2.125	2.500	.687	4.938	3.937	4.187
-50	3.125									
-52	3.250	.281	4.188	8.250	2.437	2.812	.812	5.188	4.250	4.750
-54	3.375	.281	4.312	8.250	2.437	2.812	.812	5.313	4.375	4.875
-56	3.500	.281	4.437	8.500	2.437	2.812	.812	5.437	4.500	5.000
-58	3.625	.281	4.562	8.812	2.437	2.812	.812	5.562	4.625	5.125
-60	3.750	.281	4.625	8.750	2.437	2.812	.812	5.688	4.687	5.125
-62	3.875	.281	4.812	8.750	2.437	2.812	.812	5.813	4.875	5.250
-64	4.000	.281	4.937	8.812	2.437	2.812	.812	5.813	5.000	5.375
-66	4.125									
-68	4.250	.281	5.188	9.250	2.437	2.812	.812	6.063	5.250	5.750
-70	4.375	.281	5.312	9.250	2.437	2.812	.812	6.437	5.375	5.875
-72	4.500	.281	5.406	9.688	2.437	2.812	.812	6.500	5.500	6.000
-74	4.625									
-76	4.750	.281	5.656	9.750	2.437	2.812	.812	6.938	5.750	6.250
-78	4.875									
-80	5.000	.375	6.188	10.750	3.062	3.812	.937	7.312	6.312	6.750
-82	5.125									
-84	5.250									
-88	5.500	.375	6.688	11.750	3.062	3.812	.937	7.813	6.812	7.375
-92	5.750	.375	6.938	12.000	3.062	3.812	.937	8.156	7.062	7.625
-104	6.500	.375	7.688	12.750	3.062	3.812	.937	8.813	7.812	8.375
-136	8.500	.375	9.688	14.250	3.250	3.812	1.000	11.000	9.812	10.250

FLEXY-A-SEALING  
 P.O. BOX 134 / JACKSON ST.  
 ESSEX JUNCTION, VT 05453  
 (923) 9-3107

# STYLE 85

STATIONARY MULTI-SPRING

U.S. PATENT NO. 5662340

REV	ECN#	DATE	REV BY
1	023	10/23/95	R.B.

## **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

## APÉNDICE A

### VALORES DE LA FUNCIÓN GAMMA

LEY DE WEIBULL:

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta \right]$$

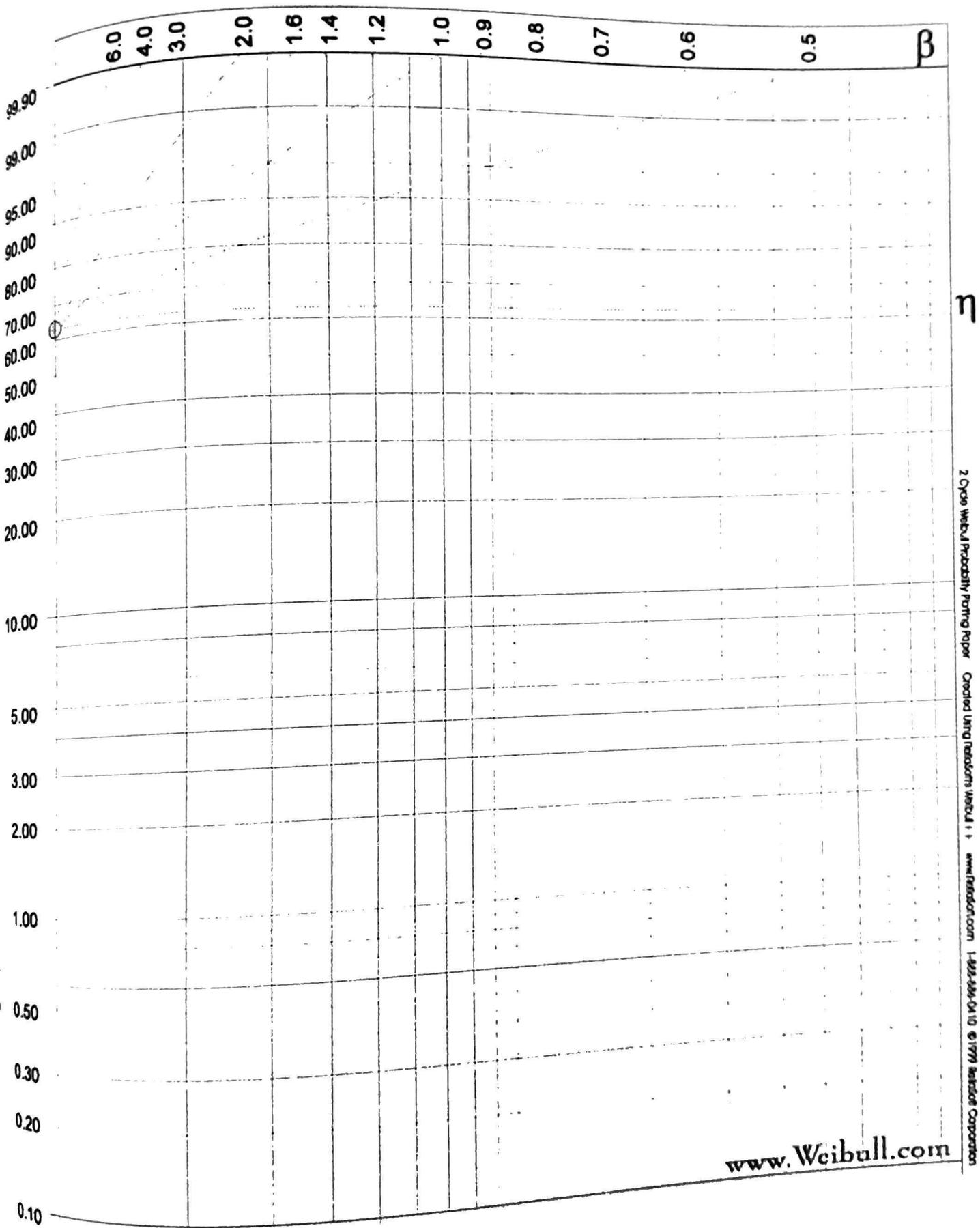
$$MTBF = m = E(t) = \eta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

$$\sigma^2 = \eta^2 \left[ \Gamma \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) - \Gamma^2 \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]$$

$\beta$	$m/\tau_1 = \Gamma(1+1/\beta)$	$\sigma/\tau_1$	$\beta$	$m/\tau_1 = \Gamma(1+1/\beta)$	$\sigma/\tau_1$
0	$\infty$	$\infty$	2,0	0,8862	0,463
0,1	10!	$\sqrt{20! - (10!)^2}$	2,1	0,8857	0,44
0,2	120	1901	2,2	0,8856	0,42
0,3	9,2605	47	2,3	0,8859	0,41
0,4	3,3234	10,43	2,4	0,8865	0,39
0,5	2,0000	4,472	2,5	0,8873	0,38
0,6	1,5046	2,645	2,6	0,8882	0,37
0,7	1,2658	1,851	2,7	0,8893	0,36
0,8	1,1330	1,428	2,8	0,8905	0,34
0,9	1,0522	1,171	2,9	0,8917	0,33
1,0	1,0000	1,000	3,0	0,8938	0,32
1,1	0,9649	0,878	3,1	0,8943	0,315
1,2	0,9407	0,785	3,2	0,8957	0,31
1,3	0,9235	0,716	3,3	0,8970	0,30
1,4	0,9114	0,659	3,4	0,8984	0,29
1,5	0,9028	0,613	3,5	0,8998	0,28
1,6	0,8966	0,594	3,6	0,9011	0,27
1,7	0,8922	0,530	3,8	0,9038	0,26
1,8	0,8893	0,512	4,0	0,9064	0,25
1,9	0,8874	0,485			

# APÉNDICE B

## MODELO DEL PAPEL WEIBULL

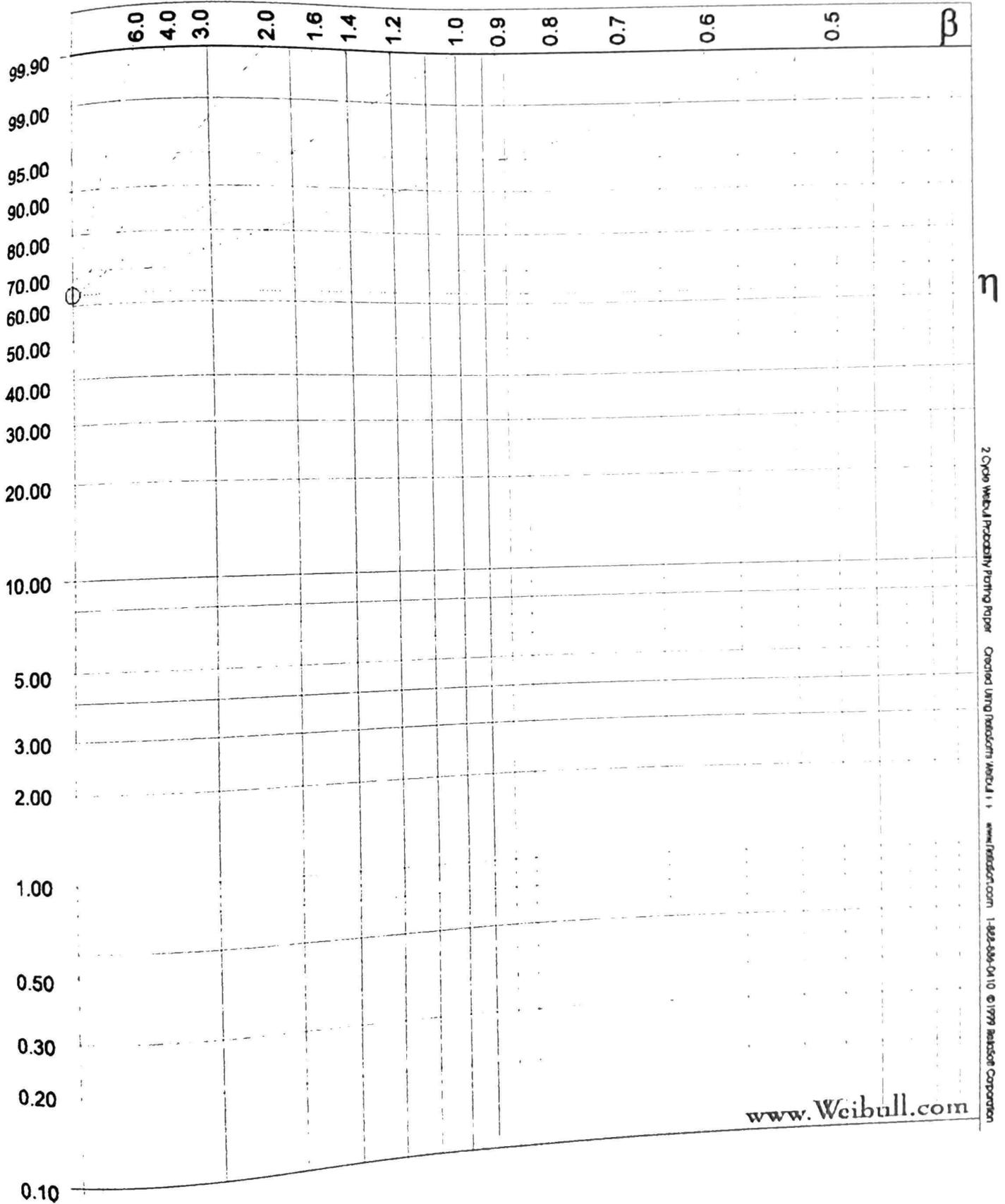


2 Cycle Weibull Probability Plotting Paper Created Using ReliaSoft Weibull 11 www.reliasoft.com 1-888-456-0410 © 1999 ReliaSoft Corporation

[www.Weibull.com](http://www.Weibull.com)

# APÉNDICE B

## MODELO DEL PAPEL WEIBULL



2 Cycle Weibull Probability Plotting Paper Credited Using Madsen's Method 1 | [www.madsen.com](http://www.madsen.com) 1-888-886-0410 © 1979 Madsen Corporation

[www.Weibull.com](http://www.Weibull.com)

## APÉNDICE C

### MÉTODO DE CÁLCULO DE PARÁMETROS WEIBULL

---

#### Estimación de los parámetros del modelo de Weibull

Los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  de la función:

$$LSF(t) = \exp(-\alpha \cdot t^\beta) \quad \text{III-1}$$

se pueden estimar transformando la función una función lineal por medio de una transformación logarítmica doble:

$$\ln[LSF(t)] = -\alpha \cdot t^\beta \quad \text{III-2}$$

$$\ln\{\ln[1/LSF(t)]\} = \ln\alpha + \beta \cdot \ln t \quad \text{III-3}$$

de esta forma el segundo miembro queda lineal en  $t$ . Como la función:

$$F(t) = 1 - LSF(t) \quad \text{III-4}$$

indica la mortalidad en función del tiempo, 4I-3 resulta:

$$\ln\{\ln[1/(1-F(t))]\} = \ln\alpha + \beta \cdot \ln t \quad \text{III-5}$$

Para estimar gráficamente los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  se procede de la siguiente manera:

a) Los  $n$  registros de tiempos de fallas se ordenan de menor a mayor y se les asigna un número de orden  $i$  de 1 a  $n$ .

b) Se calcula para cada falla la posición  $F_i$  de la siguiente manera:

$$F_i = (i-0,5)/n \quad \text{III-6}$$

donde  $F_i$  representa el porcentaje de fallas que ha tenido lugar antes del tiempo de falla correspondiente al orden  $i$ .

c) Se construye la gráfica de la ecuación III-3 con abscisas

$$x_i = \ln t_i \quad \text{III-7}$$

y ordenadas

$$y_i = \ln\{\ln[1/(1-F(t_i))]\} \quad \text{III-8}$$

con lo cual III.5 se transforma en :

$$y_i = m \cdot x_i + b \quad \text{III-9}$$

d) Se determina la regresión lineal de los puntos  $P(x_i, y_i)$  de III-7 y III-8 con lo cual la pendiente  $m$  es  $\beta$  y la ordenada al origen  $b$  es  $\ln \alpha$ .

Para las distintas lámparas de la muestra analizada se procede en forma similar determinado así los parámetros de Weibull. Para lámpara de mercurio de 80 W se ha indicado el proceso detallado mientras que para las restantes se ha indicado solo la gráfica final para la obtención de los parámetros.

Para la lámpara de mercurio de 80W, en la tabla III-1, se ha indicado el resultado de filtrar y calcular la duración desde el cambio masivo hasta la reposición de la lámpara, tiempo estimado como la duración hasta la falla. En figura III-1 se ha graficado la frecuencia de aparición de fallas en función del tiempo para analizar gráficamente las tendencias en el tiempo de las fallas. La distribución no muestra ninguna tendencia por lo hay razón para sospechar que pertenecen a fallas de carácter aleatorio. En la tabla III-2 se indican los resultados de aplicar ecuaciones III-6 a III-9 y en figura III-2 la gráfica con los valores y el ajuste lineal para la obtención de los parámetros de Weibull para lámpara de mercurio de 80W.

En figuras III-3 en adelante se indican las regresiones lineales para obtener los parámetros de Weibull para las restantes lámparas.

Tabla III-1: Duración hasta el fallo para la lámparas de mercurio de 80W

Pto Luz	Fecha	Código	Potencia	Lámpara	Duración	Periodo CM
AA079	09/09/92	P1MG	80	K	0.84	39.70
AA080	09/09/92	P1MG	80	K	0.84	39.70
AZ060	18/12/92	P1MG	80	K	1.39	42.79
AA093	17/02/93	P1MG	80	K	6.10	39.70
AA076	15/04/93	P1MG	80	K	8.03	39.70
AA089	15/04/93	P1MG	80	K	8.03	39.70
AA083	27/07/93	P1MG	80	K	11.43	39.70
P021	08/02/94	P1MG	80	K	12.16	44.62
AA082	03/11/93	P1MG	80	K	14.64	39.70
AA085	03/11/93	P1MG	80	K	14.64	39.70
AZ055	28/02/94	P1MG	80	K	15.72	42.79
AA075	14/12/93	P1MG	80	K	16.00	39.70
AA081	14/12/93	P1MG	80	K	16.00	39.70
AA084	14/12/93	P1MG	80	K	16.00	39.70
K049	25/05/94	P1MG	80	K	17.26	40.97
P025	09/08/94	P1MG	80	K	18.16	44.59
AA092	17/03/94	P1MG	80	K	19.10	39.70
AZ056	22/07/94	P1MG	80	K	20.53	42.79
AZ061	22/07/94	P1MG	80	K	20.53	42.79
AA090	27/05/94	P1MG	80	K	21.43	39.70
AA091	27/05/94	P1MG	80	K	21.43	39.70
B160	04/01/95	P1MG	80	K	24.00	40.33
AA077	24/10/94	P1MG	80	K	26.33	39.70
AA073	25/11/94	P1MG	80	K	27.36	39.70
AA078	25/11/94	P1MG	80	K	27.36	39.70
K050	24/07/95	P1MG	80	K	31.23	40.97
AA088	19/06/95	P1MG	80	K	34.16	39.70
AZ057	29/09/95	P1MG	80	K	34.76	42.79
P013	16/08/96	P1MG	80	K	42.43	44.62

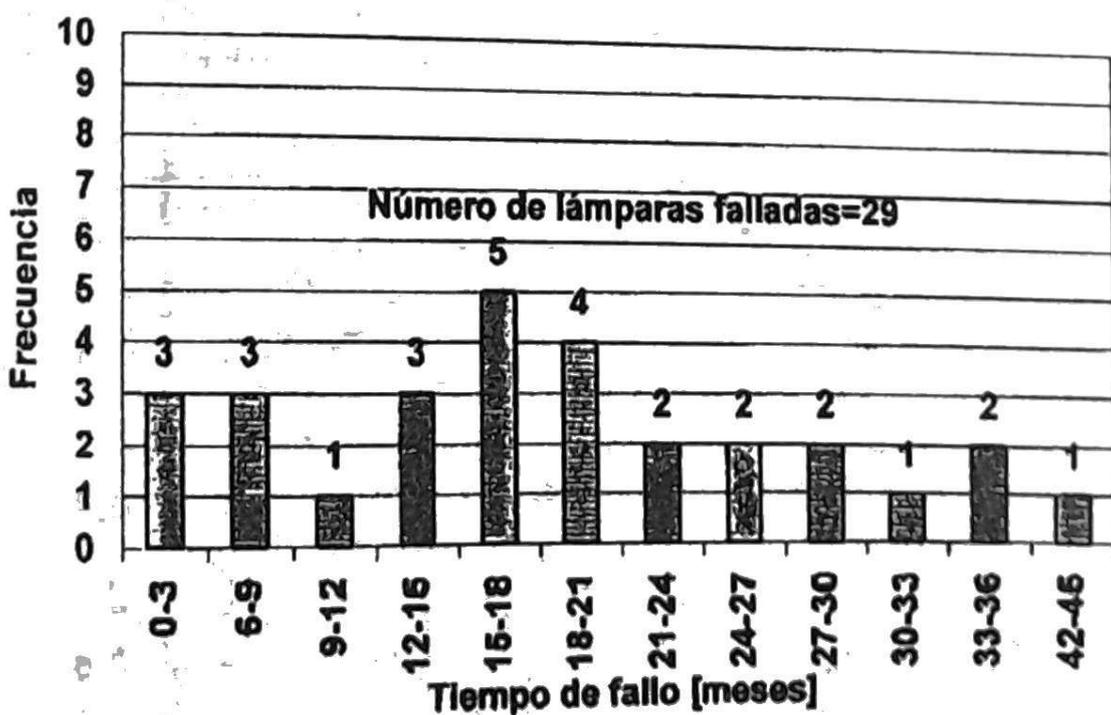


Figura III-1: Frecuencia de aparición de fallas en función del tiempo para analizar gráficamente las tendencias en el tiempo de las fallas

Tabla III-2: Duración hasta el fallo para la lámparas de mercurio de 80W

Duración [h]	$i$	$F(t_i)$	$x_i$	$y_i$
297	1	0.011	5.6948	-4.5380
297	2	0.032	5.6948	-3.4285
496	3	0.053	6.2070	-2.9067
2170	4	0.074	7.6825	-2.5589
2858	5	0.096	7.9580	-2.2962
2858	6	0.117	7.9580	-2.0838
4066	7	0.138	8.3105	-1.9048
4329	8	0.160	8.3730	-1.7496
5209	9	0.181	8.5581	-1.6120
5209	10	0.202	8.5581	-1.4881
5595	11	0.223	8.6296	-1.3750
5693	12	0.245	8.6471	-1.2708
5693	13	0.266	8.6471	-1.1738
5693	14	0.287	8.6471	-1.0829
6143	15	0.309	8.7230	-0.9972
6464	16	0.330	8.7739	-0.9159
6796	17	0.351	8.8241	-0.8384
7304	18	0.372	8.8962	-0.7641
7304	19	0.394	8.8962	-0.6927
7625	20	0.415	8.9391	-0.6237
7625	21	0.436	8.9391	-0.5569
8540	22	0.457	9.0525	-0.4919
9369	23	0.479	9.1451	-0.4285
9736	24	0.500	9.1836	-0.3665
9736	25	0.521	9.1836	-0.3057
11113	26	0.543	9.3158	-0.2458
12157	27	0.564	9.4056	-0.1867
12367	28	0.585	9.4228	-0.1281
15097	29	0.606	9.6223	-0.0700

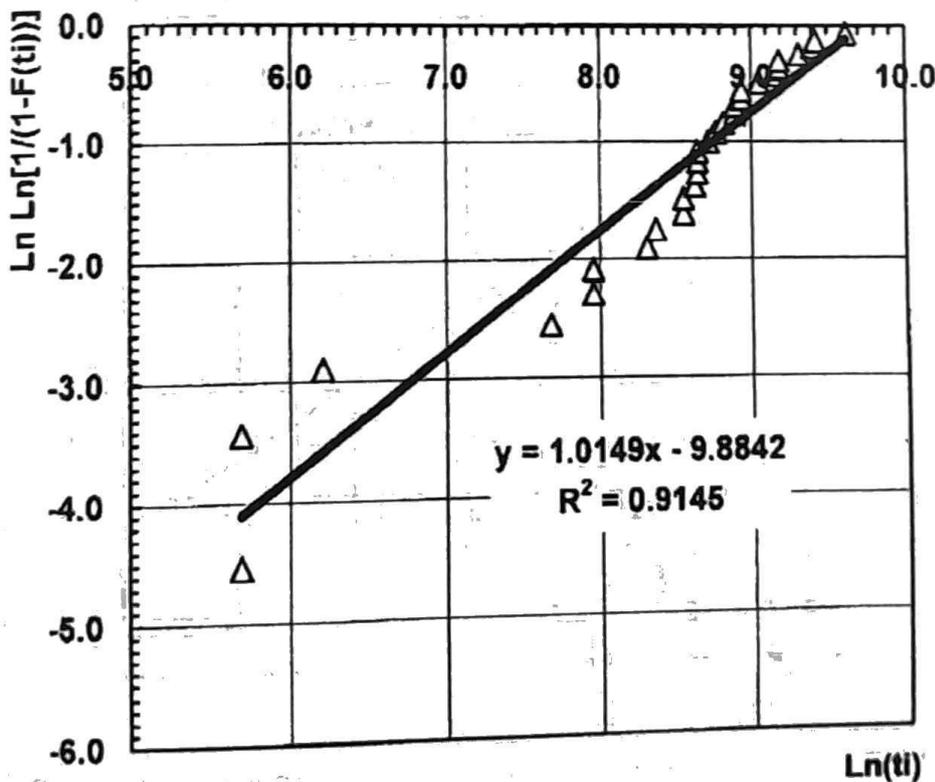


Figura III-2: Gráfica con regresión lineal para la estimación de los parámetros de la función de Weibull para lámpara de mercurio de 80W.

Distribución tiempo fallas de Weibul Mercurio 125W CM=39-48 meses

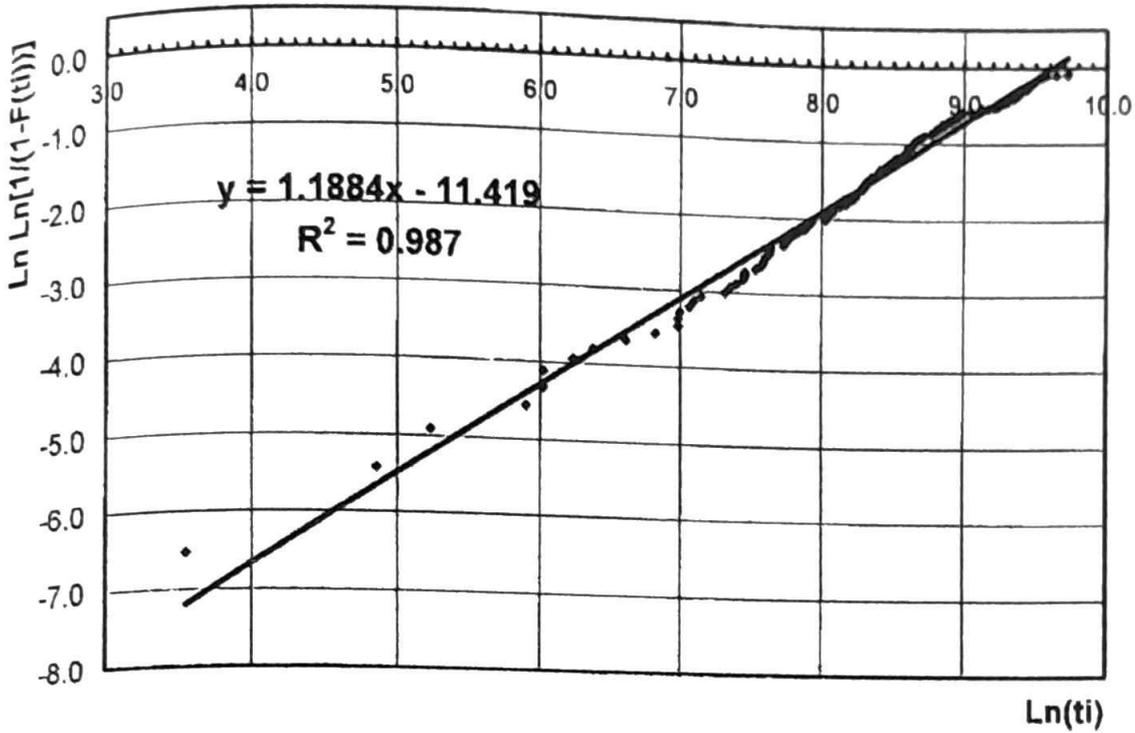


Figura III-3: Gráfica con regresión lineal para la estimación de los parámetros de la función de Weibull para lámpara de mercurio de 125W.

Distribución tiempo fallas de Weibul Mercurio 250W CM=33-51 meses

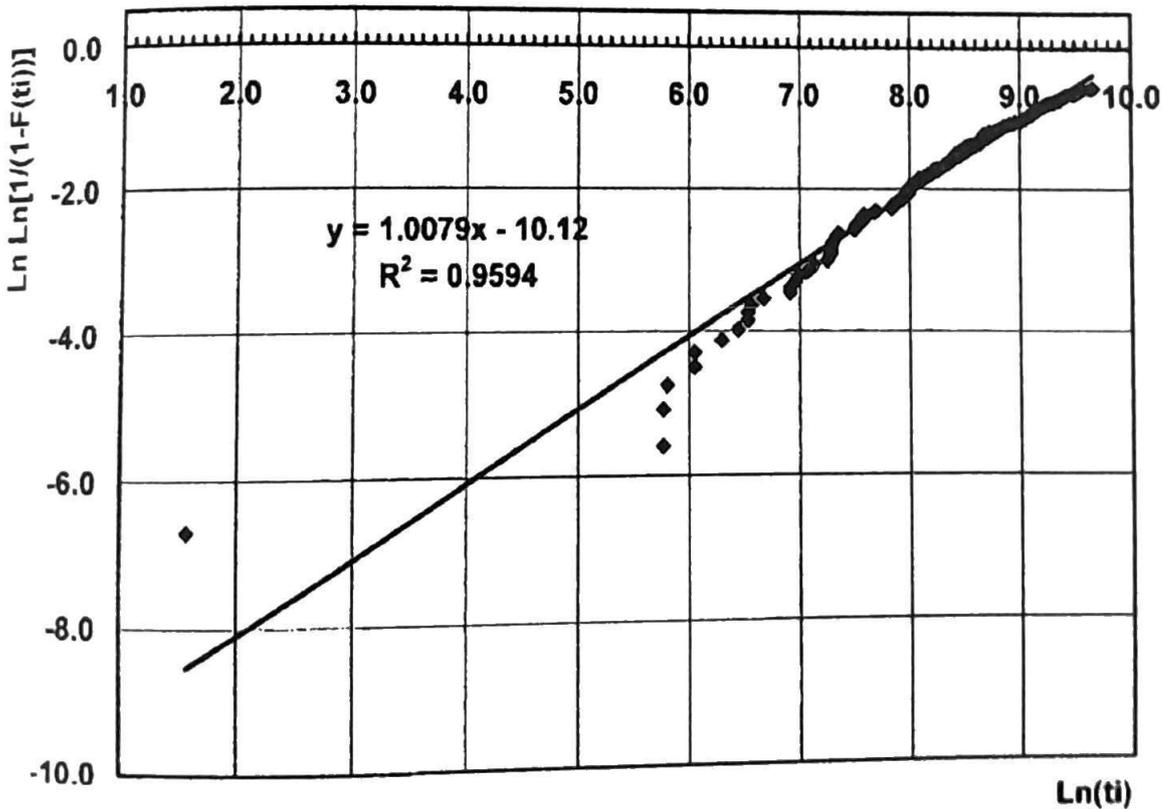


Figura III-4: Gráfica con regresión lineal para la estimación de los parámetros de la función de Weibull para lámpara de mercurio de 250W.

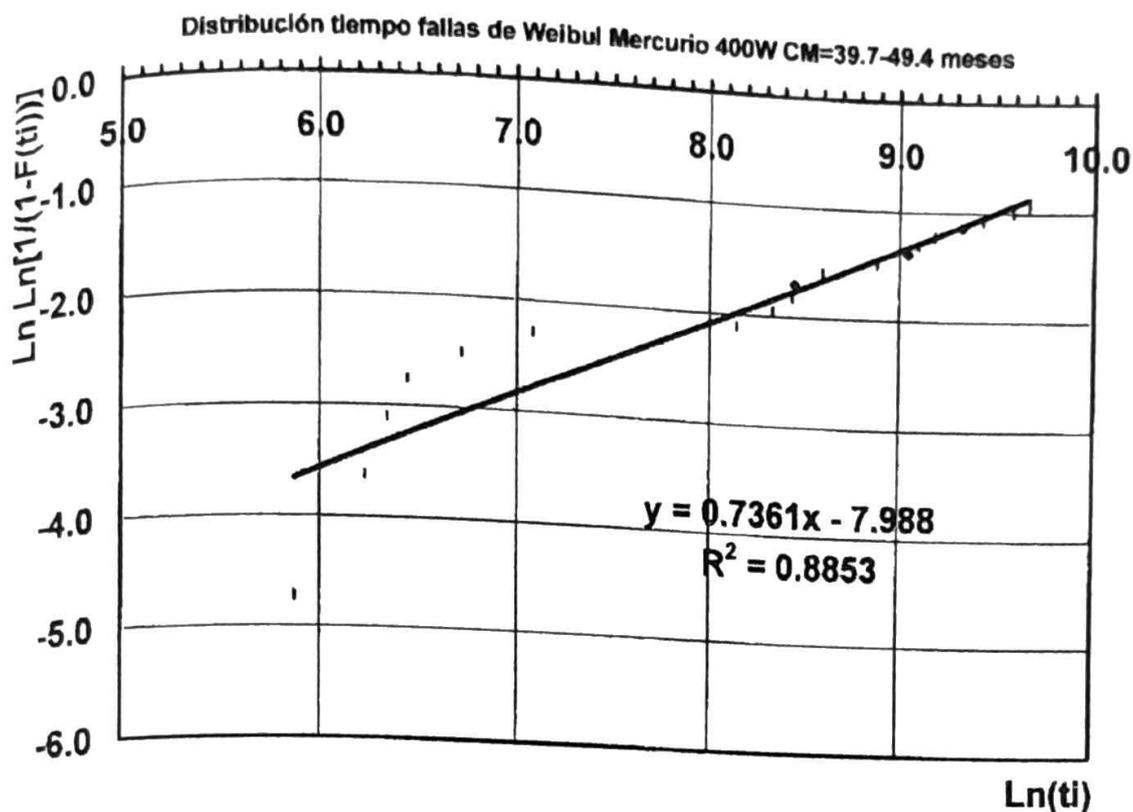


Figura III-5: Gráfica con regresión lineal para la estimación de los parámetros de la función de Weibull para lámpara de mercurio de 400W.

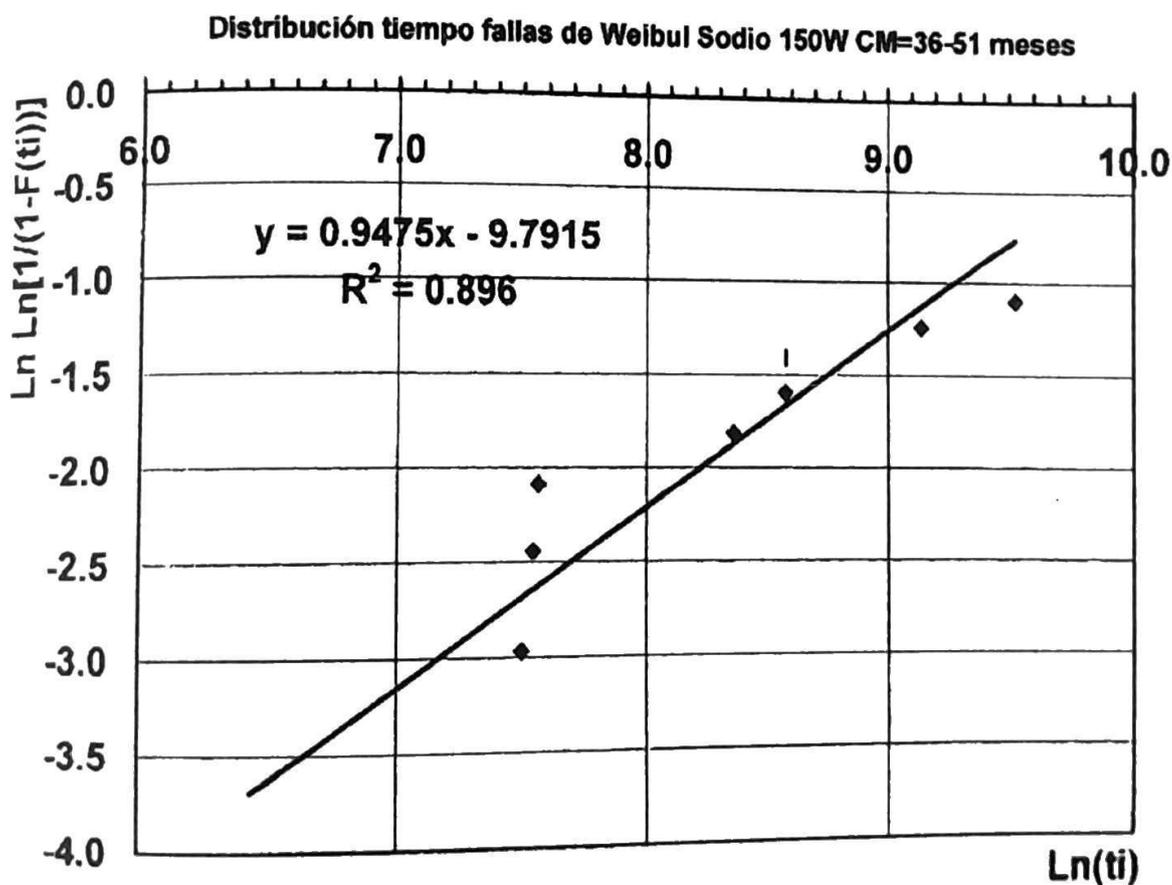


Figura III-6: Gráfica con regresión lineal para la estimación de los parámetros de la función de Weibull para lámpara de sodio A.P 150W.

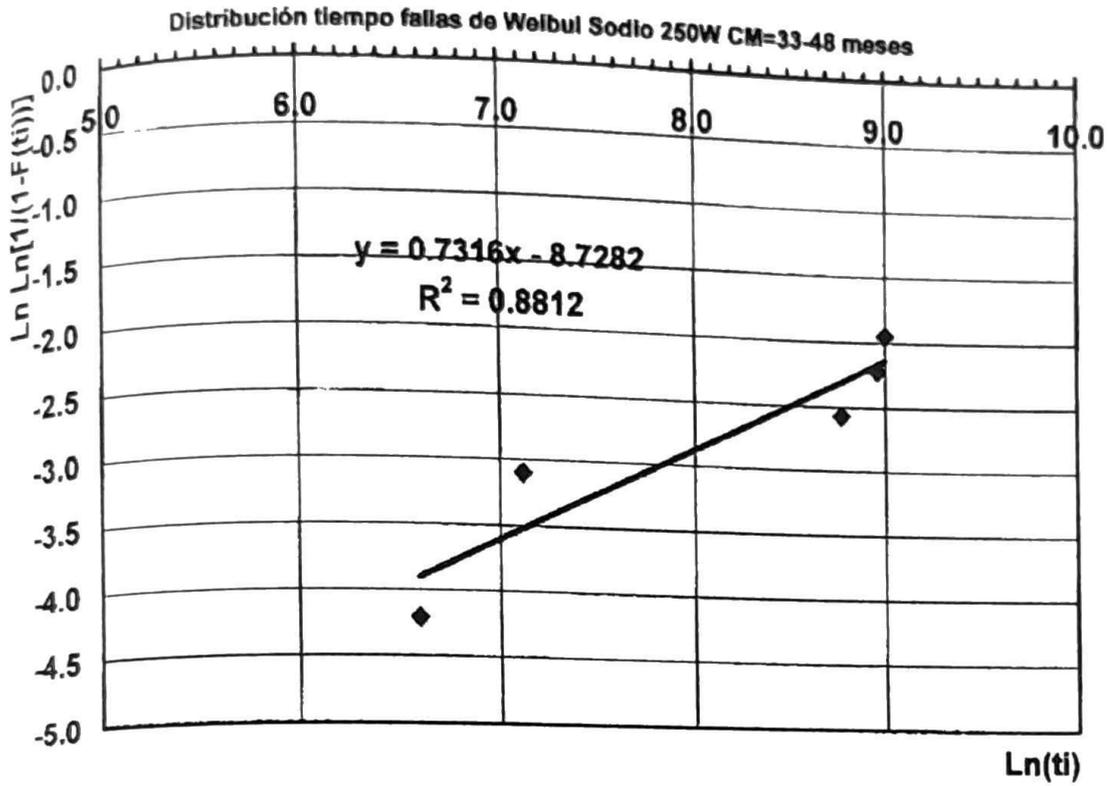


Figura III-7: Gráfica con regresión lineal para la estimación de los parámetros de la función de Weibull para lámpara de sodio A.P 250W.

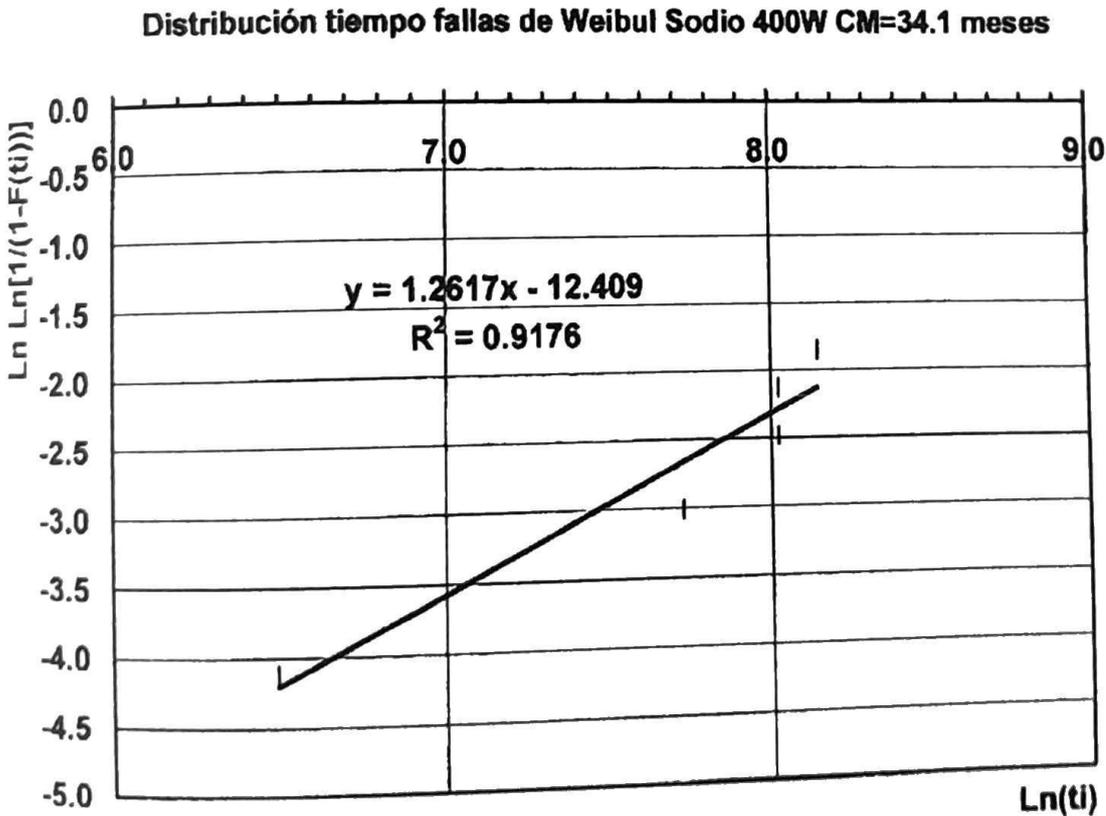


Figura III-8: Gráfica con regresión lineal para la estimación de los parámetros de la función de Weibull para lámpara de sodio A.P 400W.

**APÉNDICE D**  
**MÉTODO DE CÁLCULO DE PÉRDIDA DE ENERGÍA EN SELLOS**  
**MECÁNICOS**

**CÁLCULOS DE AHORROS EN CONSUMO DE ENERGÍA:**

En lo que respecta al ahorro del consumo de energía entre la utilización de empaques y sello mecánico, tengamos en cuenta los siguientes parámetros.

- RPM promedio: 1200 RPM
- Presión por caja: 40 PSI
- Temperatura fluido: 40 °C
- Coeficiente de fricción pulpa: 0.05= $\mu$
- $\varnothing$  camisa promedio: 3" (Bombas 3175 S)
- No de anillos: 6 empaquetadura
- Sección de empaquetadura: 1/2" sección transversal.

Estos datos son necesarios para saber cual es la potencia disipada por la empaquetadura. Se traduce en trabajo realizado por unidad de tiempo o lo que es igual fuerza por espacio recorrido. Así:

$$T = F \times e \times \mu$$

Donde  $F = P \times A$

$P =$  Presión Lb/pulg<sup>2</sup>  
 $A =$  sup. de contacto (área= $[\pi \times \varnothing \times m \times N]$ )  
 $N =$  números de anillos  
 $m =$  sección transversal de empaques  
 $\varnothing =$  diámetro de camisa  
 $\mu =$  Coeficiente de fricción  
 $e =$  Velocidad  $\frac{\pi \times \varnothing \times RPM}{12}$  pies por minuto

Entonces tenemos que:  
 $F = P \times (\pi \times \varnothing \times m \times N)$

$$T = \frac{P \times (\pi \times \varnothing \times m \times N) \times \pi \times \varnothing \times RPM \times \mu}{12}$$

de esta fórmula nos queda:

$$T = \frac{P \times \pi^2 \times \varnothing^2 \times N \times m \times \mu \times RPM}{12}$$

$$T = \frac{40 \text{ Lb/pulg}^2 \times 9.869 \times 9 \text{ pulg}^2 \times 6 \times 0.5 \text{ pulg} \times 0.05 \times 1200 \text{ RPM}}{12} = \frac{53.292.6 \text{ Lb pie}}{\text{min.}}$$

Para determinar cuantos caballos de fuerza se disipan realizamos la siguiente conversión:

$$T = \frac{53.292.6 \text{ Lb pie}}{\text{min.}} \times \frac{1 \text{ Hp}}{33.000 \text{ lb. pie/ min.}} = 1.6149 \text{ Hp}$$

$T = 1.6149$  Hp disipados por la empaquetadura.

Calcularemos ahora la potencia disipada por el sello Mecánico.

Teniendo en cuenta que el sello mecánico a utilizar es un sello Hidráulicamente balanceado 70/30, lo que nos representa una reducción de corriente y línea de fuerza de cierre, para esta medida, 3", la superficie de contacto entre caras es de:

$$\text{Área de contacto} = e \times D_m \times \pi$$

$$D_m = D_i + (D_e - D_i / 2)$$

$$D_m = 3.5 + (3.75 - 3.25 / 2)$$

$$D_m = 3.5 + 0.25$$

$$D_m = 3.75 \text{ pulg.}$$

$e$  = Espesor de la cara

$D_m$  =  $\emptyset$  medio de la cara

$D_i$  =  $\emptyset$  interior

$D_e$  =  $\emptyset$  exterior

$$A_c = 0.125 \text{ pulg} \times 3.75 \text{ pulg} \times \pi$$

$A_c = 1.47 \text{ pulg}^2$  este Área corresponde toda el área que va a estar en contacto el sello mecánico.

La fuerza de cierre del Sello mecánico:

- Fuerza de cierre (Hidráulica)  $\frac{40 \text{ Lb}}{\text{Pulg}^2} \times 1.47 \text{ pulg}^2 \times 0.7 = 41.16 \text{ lb.}$

- Fuerza de resortes  $\frac{20 \text{ Lb}}{\text{Pulg}^2} \times 1.47 \text{ pulg}^2 = 29.4 \text{ lb.}$

$$\text{Fuerza de cierre total} = 41.16 \text{ lb.} + 29.4 \text{ lb.} = 70.56 \text{ Lb.}$$

- Fuerza de apertura Hidráulica  $\frac{20 \text{ lb.}}{\text{Pulg}^2} \times 1.47 \text{ pulg}^2 = 29.4 \text{ lb.}$

$$\text{Fuerza Neta} = 41.16 \text{ lb.}$$

Calcularemos ahora los pies por minutos, espacio el que recorre la cara del Sello:

$$e = \frac{\emptyset \times \text{RPM}}{4} = \text{pies por minutos} \quad e = \frac{3'' \times 1200 \text{ RPM}}{4} = 900 \text{ ppm}$$

A continuación calcularemos el trabajo realizado por el sello Mecánico:

$$T = 41.16 \text{ lb.} \times 0.05 \times \frac{900 \text{ pies}}{\text{min.}} = 1852.2 \frac{\text{pies libras}}{\text{min.}}$$

Podemos convertir los pies libras en caballos de fuerza con la siguiente fórmula:

$$\frac{1852.2 \text{ pies libras/min}}{33000 \text{ pies libras/min}} = 0.0561 \text{ Hp}$$

$$T = 0.05561 \text{ hp de energía disipada por el Sello Mecánico}$$

Si comparamos:

$1.6149 \text{ Hp} - 0.0561 \text{ Hp} = 1.55 \text{ Hp}$  se Ahorrarían si utilizáramos sellos mecánicos. Pero ahora miremos cuanta energía nos ahorraríamos en general:

Entonces  $1.55 \text{ Hp} \times 0.746 \frac{\text{Kw.}}{\text{Hp}} = 1.15 \text{ Kw.}$

$1.15 \text{ Kw.} \times 8760 \text{ horas} = 10129 \text{ Kw. Hora/año}$   
 $10129 \text{ Kw. Hr/año} \times \frac{1 \text{ año}}{365} = 27.75 \text{ Kw. Hr/día}$

**Conociendo el valor del Kw. Generado por ustedes es fácil determinar la cantidad de dólares que podrían ser ahorrados cambiando los sistemas de sellados de empaques a Sellos Mecánicos.**

En cuanto a la vida útil del SELLO 442 sencillo este puede llegar a ser de 30.000 horas de servicios, considerando los siguientes factores propios del equipo donde se instalará como son:

- Factor de Deflexión
- Espacio Libre de caja donde se instalará
- Condiciones ambientales

Con respecto a la deflexión nos dice que su sello debe trabajar por debajo de 60 puntos y el  $L^3/D4$  de el eje la bomba es de 23.39 lo que muestra que trabajaría perfectamente en las Bombas Goulds.

En lo que corresponde al espacio libre en la caja donde se instalará el sello, tiene la suficiente holgura para su excelente desempeño.

Y su control ambiental se utilizaría dependiendo la combinación de caras elegidas.

Estamos seguros que este sistema de sellado les traerá grandes beneficios y ahorros significativos.

Con ésta propuesta le ofrecemos toda nuestra asesoría y capacitación a todo el personal Técnico especializado para extraer el máximo provecho a estos sellos partidos ref. 442, además nos comprometeríamos a mantener un stock necesario de los kit de reparación de cada sello. También le informamos que los sellos iniciales serán instalados por nosotros completamente con la colaboración de sus Mecánicos.

Para todos los datos obtenidos se tomó como base las bombas GOULDS 3175 S que en su totalidad encontramos 15. También se encontraron bombas GOULDS 3175 L cuya cantidad es de 2, 3196 que en número son 2. Estas dos últimas por su construcción difieren de medidas de eje los cuales los tendremos en cuenta para los montajes de los sellos.....

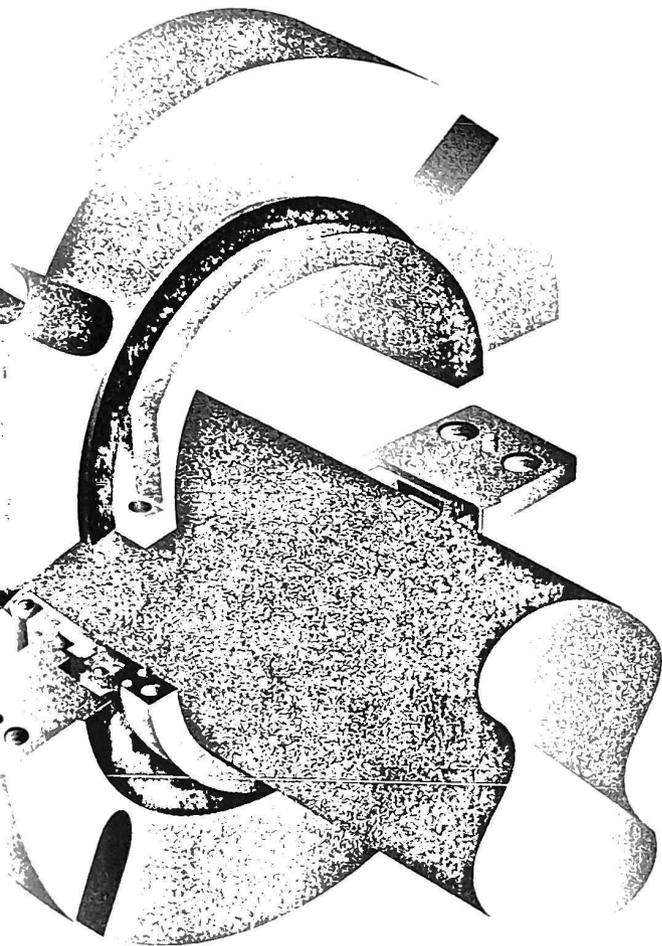
En lo referente a mano de obra que incluimos en nuestra propuesta está la preparación de la bomba, instalación de los sistemas de sellados, alineación de los ejes y puesta en marcha. Personal nuestro supervisará los trabajos de maquinado a las cajas necesarios sin costo adicional, así como todo el entrenamiento que sea necesario para conseguir la buena operación de las bombas.

## APÉNDICE E

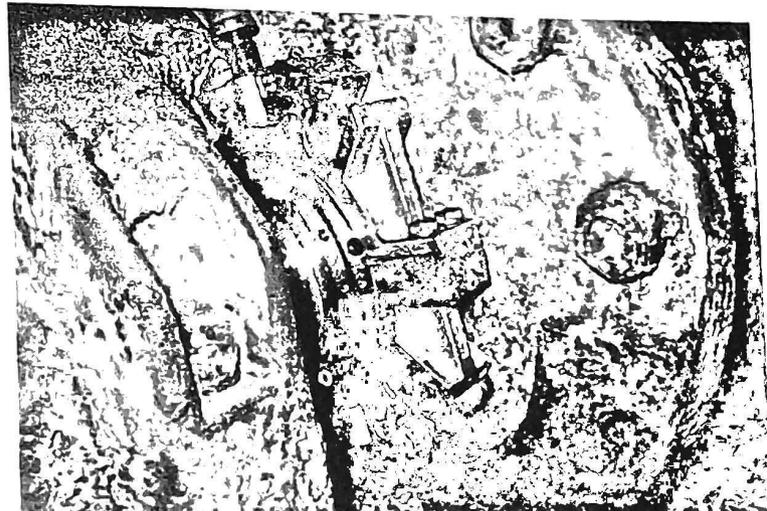
### INFORMACIÒN TÈCNICA DE SELLOS MECÀNICOS

# Style 85 World's Only Split Cartridge Seal

(US PATENT NO. 5662340)



*for difficult installations*



## For Difficult Installations

Flex-A-Seal developed the Style 85 Split Cartridge Seal to provide the easiest installation found anywhere in the world. After simply attaching two halves over the shaft, the seal

No Measurements  
No Shims  
No Special Tools  
No Glue

just two pieces are handled, eliminating the need to touch sensitive lapped faces. Both sealing faces are secured safely in cartridge halves and cannot be cocked, chipped or scarred.

The design of the Style 85 is like no other split seal on the market. While most split seals are mounted outside the stuffing box and designed to function like an outside seal, the

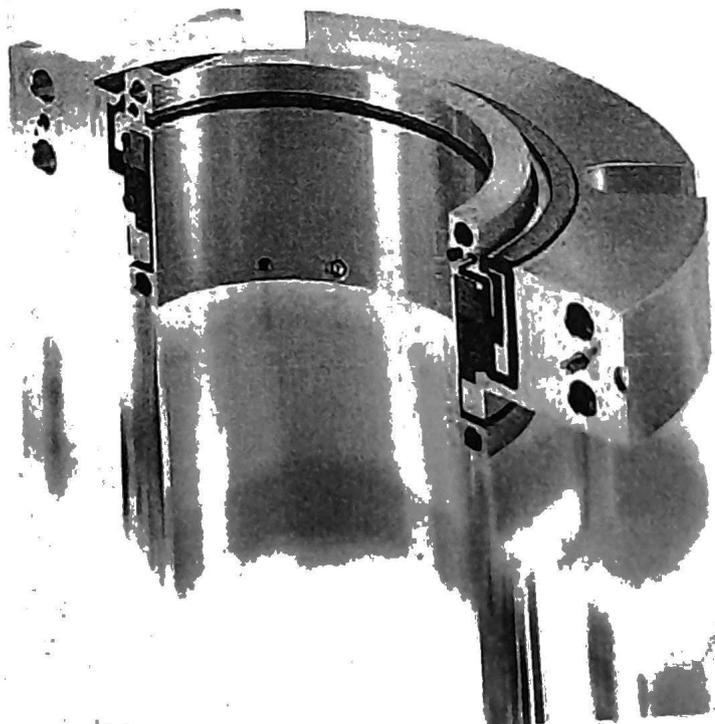
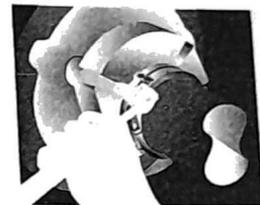
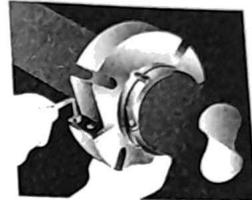
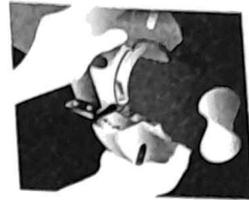


Style 85 was engineered as a split, internal, hydraulically balanced, stationary seal, mounted outside the stuffing box. These features allow the centrifugal force to keep the solids away from the seal faces while maintaining the ability to handle higher speeds, internal pressures and misalignment. No need to worry about solids, as the springs are protected and out of the product to eliminate clogging. The static shaft sleeve "o" ring is positioned outside of the stuffing box to assure a good sealing surface, even on worn packing sleeves!

Peace  
of Mind

Unlike most cartridge seals on the market, the Style 85 is the only split cartridge seal that can be fully assembled and pressure tested at the factory. This ensures the sealing integrity of each seal completely before it is sent to the field.

The Flex-A-Seal Style 85 Split Cartridge Seal ...Fast, Simple and Reliable!



### Materials of Construction

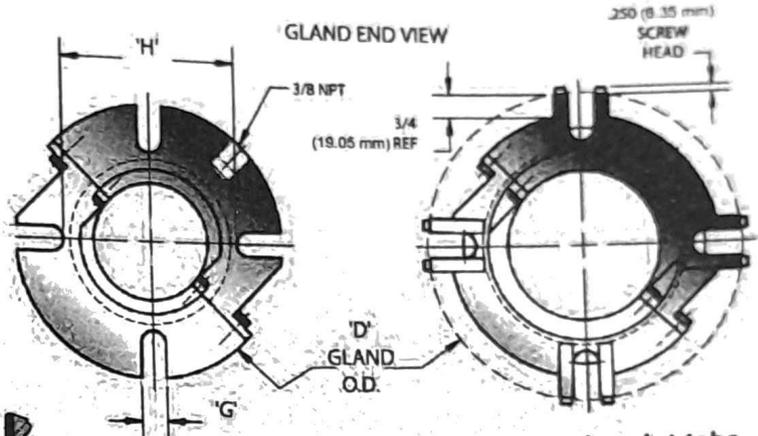
- Stationary Gland Assembly: 316 Stainless Steel
- Rotating Sleeve Assembly: 316 Stainless Steel
- O Rings, Gaskets: Viton (standard)
- Rotating Face: consult factory for AFLAS® or Fluoraz® option
- Stationary Face: Silicon Carbide
- Springs: Carbon or Silicon Carbide
- Screws: Hastelloy C®
- 316 Stainless Steel

### Operating Conditions

Seal Size	Temp.	Speed	Pressure
1 3/4" - 3" (45mm - 75mm)	350°F (175°C)	3600 RPM	250 PSI (17 bar)
3 1/8" - 3 3/4" (80mm - 95mm)	350°F (175°C)	1800 RPM	200 PSI (14 bar)
3 7/8" - 4 3/4" (100mm - 120mm)	350°F (175°C)	800 RPM	150 PSI (10 bar)
5" and above (125mm and above)	350°F (175°C)	875 RPM	100 PSI (7 bar)

\* Maximum temperature / pressure / speed indicates operating extremes independently and does not imply the seal will function at these extremes at the same time. Contact Flex-A-Seal Engineering if in doubt.

Registered Trademarks:  
 Viton® - Dupont Performance Elastomers  
 Aflas® - Asahi Glass Co.  
 Fluoraz® - Green Tweed  
 Hastelloy C® - Cabot Stellite Division



with extension slot tabs

#### IMPERIAL (All sizes in inches)

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	2.500	.562	3.344	2.625	3.000	.656
-31	1.937	250	2.625	5.44	2.125	2.500	.562	3.563	2.687	3.125	.656
-32	2.000	250	2.687	5.44	2.125	2.500	.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	3.187	6.25	2.125	2.500	.687	4.062	3.250	3.500	.656
-39	2.438	250	3.312	6.44	2.125	2.500	.687	4.125	3.375	3.625	.656
-40	2.500	250	3.312	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	5.688	4.687	5.125	.812
-60	3.750	281	4.625	8.82	2.437	2.812	.812	5.813	4.875	5.250	.812
-62	3.875	281	4.812	8.82	2.437	2.812	.812	5.813	5.000	5.375	.812
-64	4.000	281	4.937	8.82	2.437	2.812	.812	6.063	5.250	5.750	.812
-68	4.250	281	5.188	9.25	2.437	2.812	.812	6.437	5.375	5.875	.812
-70	4.375	281	5.312	9.25	2.437	2.812	.812	6.500	5.500	6.000	.812
-72	4.500	281	5.406	9.69	2.437	2.812	.812	6.938	5.750	6.250	.812
-76	4.750	281	5.656	9.75	2.437	2.812	.812	7.312	6.312	6.750	.923
-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	7.812	6.500	7.250	.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	6.688	11.50*	3.062	3.812	.937	8.156	7.062	7.625	.923
-92	5.750	375	6.938	12.00*	3.062	3.812	.937	8.656	7.562	8.125	.923
-100	6.250	375	7.438	12.50*	3.062	3.812	.937	9.312	8.062	8.625	.923
-104	6.500	375	7.688	12.25*	3.062	3.812	.937	9.312	8.062	8.625	.923
-108	6.750	375	7.938	12.50*	3.250	4.000	.937	9.562	8.312	8.750	.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

#### METRIC (All sizes in mm)

Size	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
30	45	6.35	65.1	140	54	64	14.3	84.9	66.68	76.20	16.7
32	48	6.35	68.2	140	54	64	14.3	90.5	68.85	79.38	16.7
32	50	6.35	68.2	140	54	64	14.3	90.5	68.85	79.38	16.7
38	55	6.35	77.8	159	54	64	17.4	100.0	79.40	88.90	16.7
40	60	6.35	84.1	165	54	64	17.4	104.8	85.73	95.25	16.7
42	65	6.35	85.0	165	54	64	17.4	112.8	88.90	98.40	16.7
44	70	6.35	90.5	197	54	64	17.4	112.8	92.08	104.77	16.7
48	75	6.35	96.8	203	54	64	17.4	125.4	100.00	111.10	16.7
52	80	7.14	106.4	210	62	72	20.6	131.8	108.00	120.65	20.6
56	87	7.14	112.7	216	62	72	20.6	138.1	114.30	127.00	20.6
58	90	7.14	115.9	219	62	72	20.6	141.3	117.50	130.20	20.6
60	95	7.14	117.5	222	62	72	20.6	144.5	119.05	130.18	20.6
64	100	7.14	125.4	224	62	72	20.6	147.6	127.00	136.52	20.6
70	120	7.14	143.7	248	62	72	20.6	176.2	146.05	158.75	20.6
80	125	9.50	157.2	273	77.8	96.8	23.8	185.7	160.30	171.40	23.4

Additional sizes available upon request

\* Sizes use extension slot tabs

## Fast, Simple and Reliable

Split seals are designed for environments where conventional seals routinely take many hours to disassemble and reassemble rotary equipment, but the fully split cartridge seal design of the Flex-A-Seal Style 85 is easier to install than conventional seals and other component split seal designs, making this seal ideal for hard to access equipment such as:

- Pumps
- Mixers
- Agitators

The Style 85 is commonly used in many industries:

- Chemical Processing
- Food Processing
- Industrial
- Mining
- Pharmaceutical
- Power Generation
- Petrochemical
- Pulp and Paper
- Refining
- Water and Waste Treatment



Manufacturing and stocking centers

### USA

1 Jackson Street PO Box 184  
Essex Junction, VT 05453-0184 USA  
Phone: 1-800-426-3594 • 1-802-878-8307  
Fax: 1-802-878-2479  
Email: sales@flexaseal.com

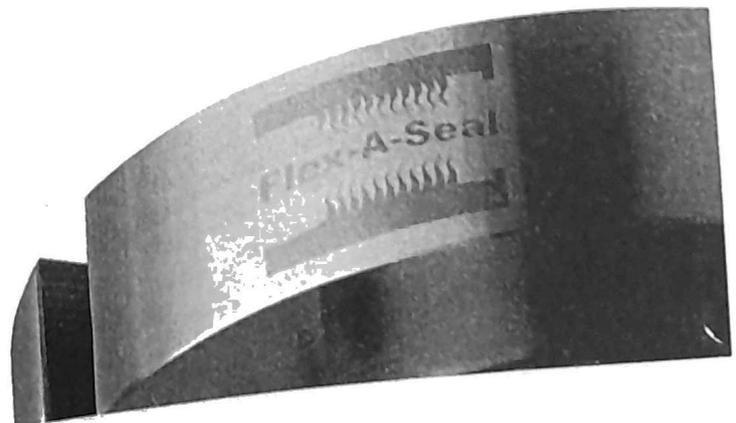
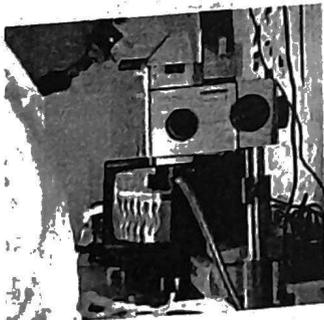
### BRAZIL

Rua Visconde De Taunay  
59 Loja 06-CEP  
Bom Retiro, Sao Paulo  
Brazil CEP 01132-000  
Phone: 55-11-3115-4819 • 55-11-3115-0656  
Fax: 55-11-3101-1297  
Email: vendas@flexaseal.com.br

### AUSTRALIA

Unit 9/23 Richland Avenue  
Coopers Plains 4108 QLD Australia  
Phone: (07) 3272 7030  
Fax: (07) 3272 9885 Mob: 0417 626025  
Email: flexasealoz@bigpond.com

DISTRIBUTED BY:



INSTRUCCIONES DE INSTALACIÓN DE SELLOS MECÁNICOS

**INSTALLATION INSTRUCTIONS**  
**PATENT PENDING**

I. CONTENTS OF BOX

BEFORE STARTING MAKE SURE YOU HAVE THE FOLLOWING PARTS. SEE FIGURE 1

CARTRIDGE HALF ASSEMBLY	2
SMALL SHOULDER SCREWS	4
LARGE SHOULDER SCREWS	4
ALLEN WRENCH(S)	SEE NOTE

NOTE: ONLY (1) 1/8" ALLEN WRENCH IS REQUIRED FOR SIZES 1 3/4" TO 3".  
1/8" AND 3/16" ALLEN WRENCHES ARE REQUIRED FOR SIZES 3 1/8" TO 5"

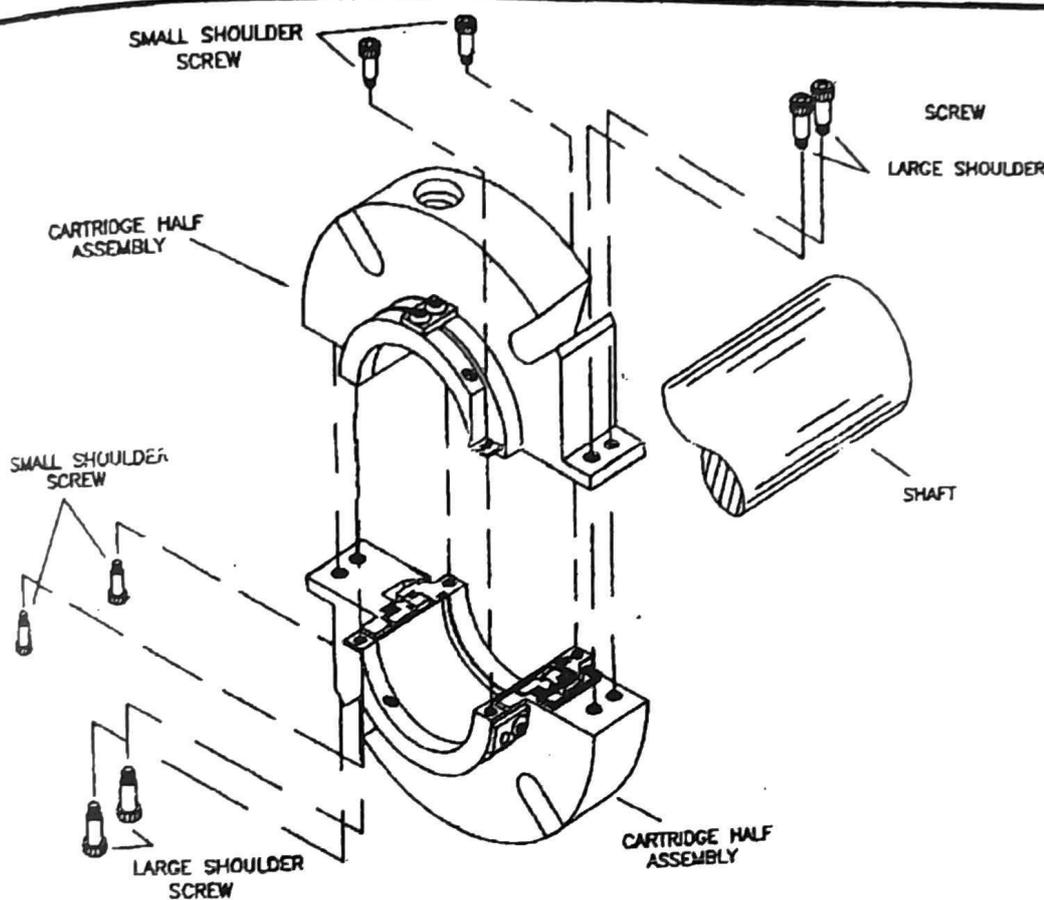


FIGURE 1. ISOMETRIC EXPOLSION OF STYLE 85 SPLIT SEAL

II. PREPARATION OF EQUIPMENT FOR SEAL INSTALLATION

- A. REMOVE OLD SEAL/PACKING METHOD. CLEAN SHAFT AND STUFFING BOX FACE. THESE SURFACES MUST BE FREE OF PAINT, RUST AND BURRS TO PROVIDE A SUITABLE SEALING SURFACE.
- B. CHECK SHAFT FOR EXCESSIVE WEAR AND RUNOUT. FOR BEST SEALING RESULTS, THE RUNNOUT BETWEEN THE SHAFT AND BOX FACE SHOULD NOT EXCEED .005".

**FLEX-A-SEAL, INC.**

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

SK1070

# STYLE 85 INSTALLATION INSTRUCTIONS PATENT PENDING

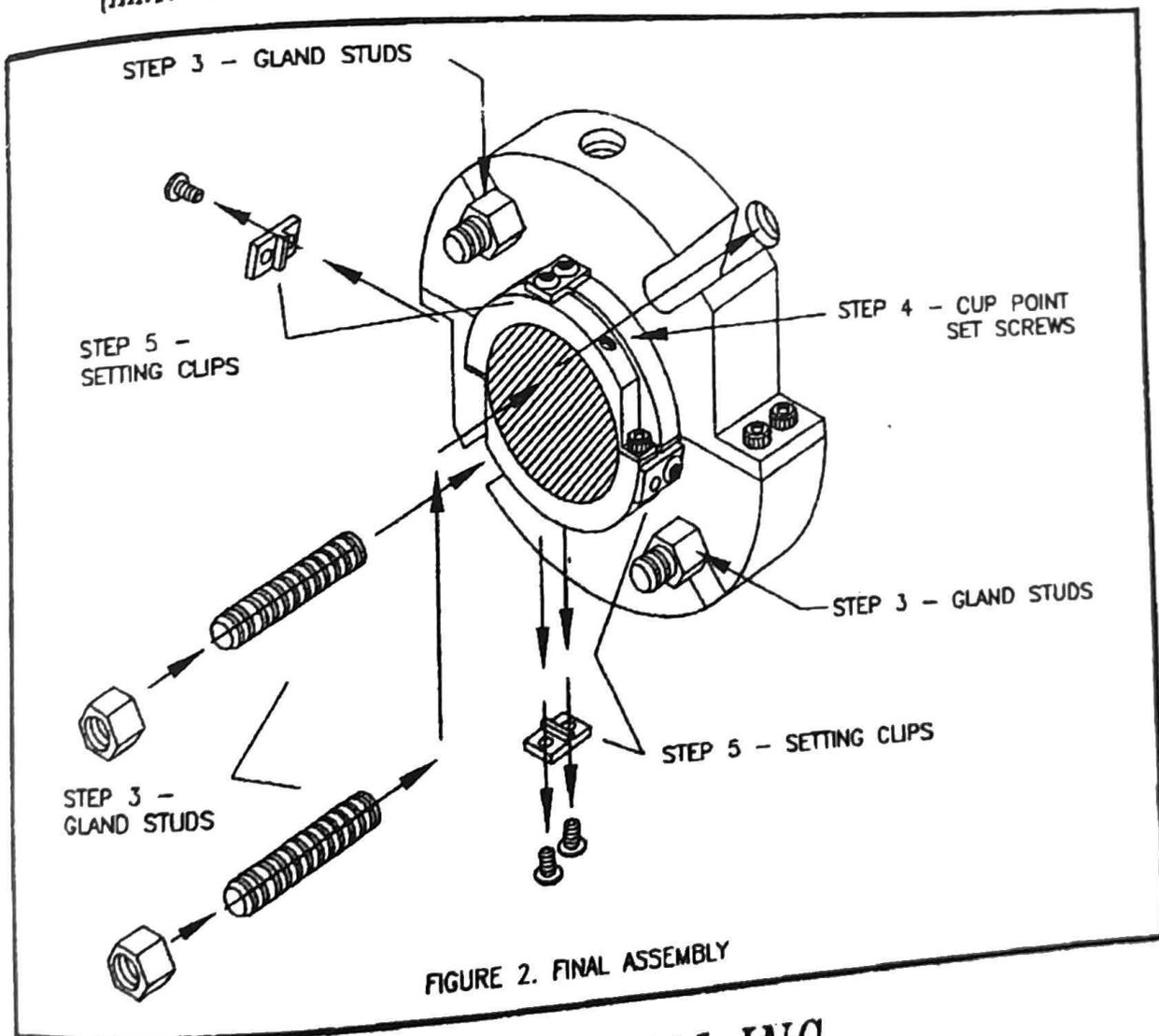
## III. INSTALLATION OF STYLE 85 SPLIT SEAL.

### A. PREPARING SEAL FOR INSTALLATION.

1. LUBE SLEEVE O'RING - **BE VERY CAREFUL NOT TO GET ANY LUBE ON ENDS OF O'RINGS WHERE THEY ARE SPLIT.**
2. PLACE ALLEN WRENCH(S), GLAND STUDS, CARTRIDGE HALF ASSEMBLIES, SMALL AND LARGE SHOULDER SCREWS NEXT TO WORK AREA.

## IV. ACTUAL ASSEMBLY OF SEAL (COUNT THE STEPS)!!

1. HOLD BOTTOM HALF UP AGAINST SHAFT. CAREFULLY ALIGN TOP HALF USING PINS MAKING SURE NEVER TO RELEASE PRESSURE OF BOTTOM HALF AGAINST THE SHAFT. START THE (4) LARGE SHOULDER SCREWS IN GLAND HOLES AND THE (4) SMALL SHOULDER SCREWS IN SLEEVE AND TIGHTEN ALL FINGER TIGHT. (YOU HAVE NOW COMPLETED THE MOST DIFFICULT PART OF THIS INSTALLATION).
2. USING ALLEN WRENCH(S), TIGHTEN ALL (8) SHOULDER SCREWS ALTERNATELY UNTIL SECURE.
3. PUT GLAND STUDS BACK IN AND TIGHTEN ALTERNATELY UNTIL SECURE (SEE FIGURE 2).
4. TIGHTEN CUP POINT SET SCREWS ALTERNATELY UNTIL SECURE.
5. REMOVE SETTING CLIPS AND SPIN SHAFT TO CHECK FOR FREE ROTATION. (HINT: SAVE FOR POSSIBLE REALIGNMENT REQUIREMENTS IN THE FUTURE).



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

SK1070

Page 2 covers the properties and compositions of most materials. Since most slurry pump materials are quite hard, and therefore brittle, we do not show yield strengths. ASTM and ACI designations are shown as general references only. The compositions of the various alloy materials have been fine-tuned by the Slurry Pump Division over the past fifty years to provide the optimum erosion/corrosion resistance and do not necessarily conform strictly to the ASTM/ACI "standards." Looking at material compositions, generally, additional percentages of chrome will provide additional corrosion resistance. Increased carbon will allow for increased hardness, but at the expense of decreasing corrosion resistance.

**MATERIAL APPLICATION GUIDELINES**

Material Name	Typical Brinell Hardness	PH Range	Application Guidelines
HC500	400-500	6-8	Suitable for moderate, non-corrosive slurries.
Ni-Hard # 1	500-600	7-9	An extremely hard but brittle iron alloy suitable for all neutral and mildly alkaline slurries. Not suitable for acid slurries. HC600 is usually used in lieu of Ni-Hard due to its superior tensile strength.
HC600	550-625	5-9	Most commonly used material for high-wear parts. Excellent abrasion resistance and better corrosion resistance than Ni-Hard. Usually used in lieu of Ni-Hard due to better erosion and abrasion resistance.
Ni-Hard #4	550-600	6-9	Slightly more abrasion and corrosion resistant than Ni-Hard #1, but HC600 is usually used in lieu of Ni-Hard #4.
CC125	350	4-12	Suitable for mild to strong acid slurries. Resists attack by dilute, sulfuric, mixed nitric and sulfuric, and oxidizing acids. Since abrasion resistance decreases as corrosion resistance increases, three varieties of this material are offered for optimum material selection.
CC60	190	3-12	
CC35	180	2-12	
Goyne 420	450	5-8	Extreme high strength material. Usually used on high pressure pumps. Moderate to good erosion resistance, not suitable for strong corrosives.
Goyne 316	160-200	3-11	Usually used where extra corrosion resistance is required. Suitable for light slurries only since abrasion resistance is low. Sometimes used for shaft material.
PH317A	300	2-12	Offer where pitting or stress corrosion is a problem. Also useful on some severe acid slurries, particularly phosphoric acid/slurry services as found in the phosphate industry. Handles Chlorides very well.
CD4MCu	250-300	*	Corrosion resistant material with some resistance to pitting. Better abrasion resistance than 316SS or Alloy 20, especially when conditions permit "work hardening".
Alloy 20	125-150	*	Corrosion resistant alloy especially well suited to dilute and intermediate concentrations of sulfuric acid.
Bronze	60	5-8	Used for impeller nuts, considered as throw-away item. Facilitates maintenance.
Shaft Steel	NA	NA	Most commonly used shaft material, a free machining 0.45% carbon/manganese steel.
Cast Iron	180	6-9	Suitable for application on very light, non-corrosive slurries.

\*Consult Material Selection Chart for particular service.



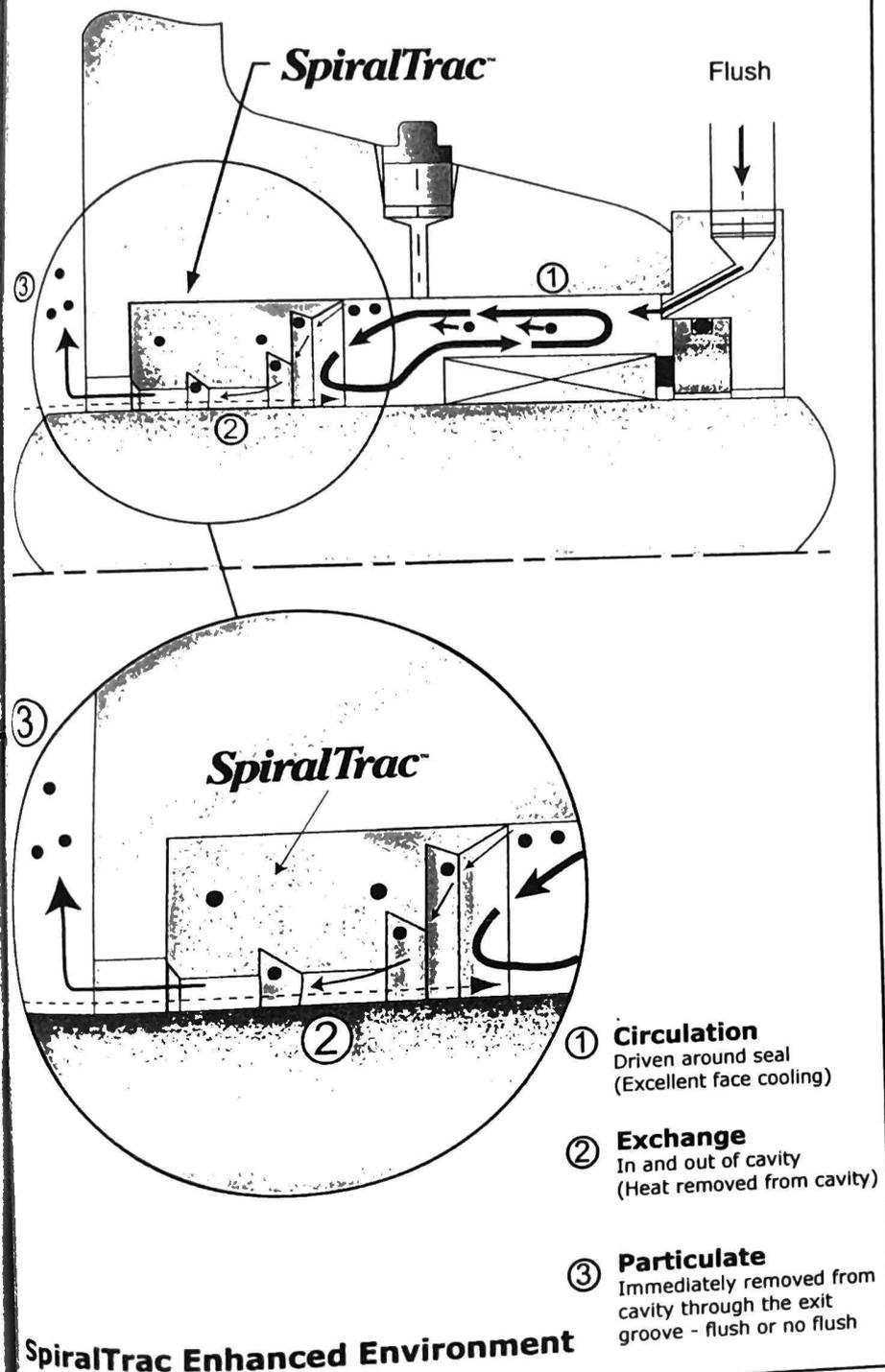
**MATERIAL PROPERTIES AND COMPOSITION**

Name	Goulds Mat'l. Std's No.	Typical ASTM or ACI Designation	Tensile Yield		Alloy Composition Ranges							
					Si%	Mn%	C%	Cr%	Ni%	Mo%	Other	
Cast Iron	1000	Similar to A48 CL35	35,000	-	1.8 2.2	.50 .60	3.0 3.60	-	-	-	-	-
HC500	1251	A532, Class 2 Type D	60,000	-	.4 .9	.6 .9	2.0 2.6	18.0 21.0	-	1.4 2.0	-	Cu-.50 Max
Ni-Hard #1	1021	Similar to A532, CL1, Tp.A	45,000	-	.4 .8	1.3 Max	3.0 3.6	1.4 4.0	3.3 5.0	-	-	-
Ni-Hard #4	1024	Similar to A532, CL1, Tp.D	80,000	-	1.7 Max	0.55 Max	3.0 3.6	7.0 10.0	5.6 6.5	-	-	-
CC60	1242	Similar to ACI 446	60,000	-	1.5 2.0	.5 1.0	.35 .60	25.0 30.0	1.0 1.2	-	-	-
HC600	1228	ACI HC250	75,000	-	.25 1.0	.5 1.0	2.3 2.8	24.0 30.0	.5 Max	.25 .50	-	-
Goyne 420	1240	A296 CA40	200,000	-	1.0 1.3	.7 1.0	.2 .4	12.0 14.0	1% Max	.25 .50	-	-
Goyne 316	1203	CF8M A296	80,000	30,000	1.0 1.5	1.0 1.5	.04 .08	18.0 21.0	9.0 12.0	2.0 3.0	-	-
Bronze	1104	Similar to B584	30,000	14,000	-	-	-	-	-	-	-	Ni-.50 Max Zn-2.0-4.0 Pb-6.0-8.0 Sn-6.3-7.5 Cu-81%-85%
Shaft Steel	2206	-	98,000	58,000	-	1.2	-	-	-	-	-	Ni-.45
Goyne PH317A	1231	-	90,000	70,000	2.7 2.9	.75 Max	.05 Max	19.5 20.5	8.5 9.5	3.2 3.7	-	-
Goyne CD4MCu	1216	A296 Grade CD4MCu	90,000	60,000	1.0 Max	1.0 Max	.04 Max	24.5 26.5	4.75 6.00	1.75 2.25	-	Cu-2.75 3.25
Goyne Alloy 20	1204	A296 GR. CN7M	60,000	25,000	1.5 Max	1.5 Max	.07 Max	19.0 22.0	27.5 30.5	2.0 3.0	-	Cu-3.0 4.0

## APÉNDICE H

### ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS DE SELLOS EN BOMBAS (SPIRAL TRAC)

**SpiralTrac Version F / Type S Installed in a Seal Cavity**



During operation, *SpiralTrac* converts some of the rotating flow in the seal cavity into a strong axial flow component. This axial flow is driven along the seal cavity bore in the direction from the gland towards the throat. Since contaminants are centrifuged to the bore during pump operation, the flow sweeps them in the direction of *SpiralTrac*, and along a shallow angled lead in ramp, increasing velocity, and therefore centrifugal force on the abrasives. A small groove, machined at the end of the lead in ramp, is then able to collect the particulate because the increased centrifugal force holds them in place.

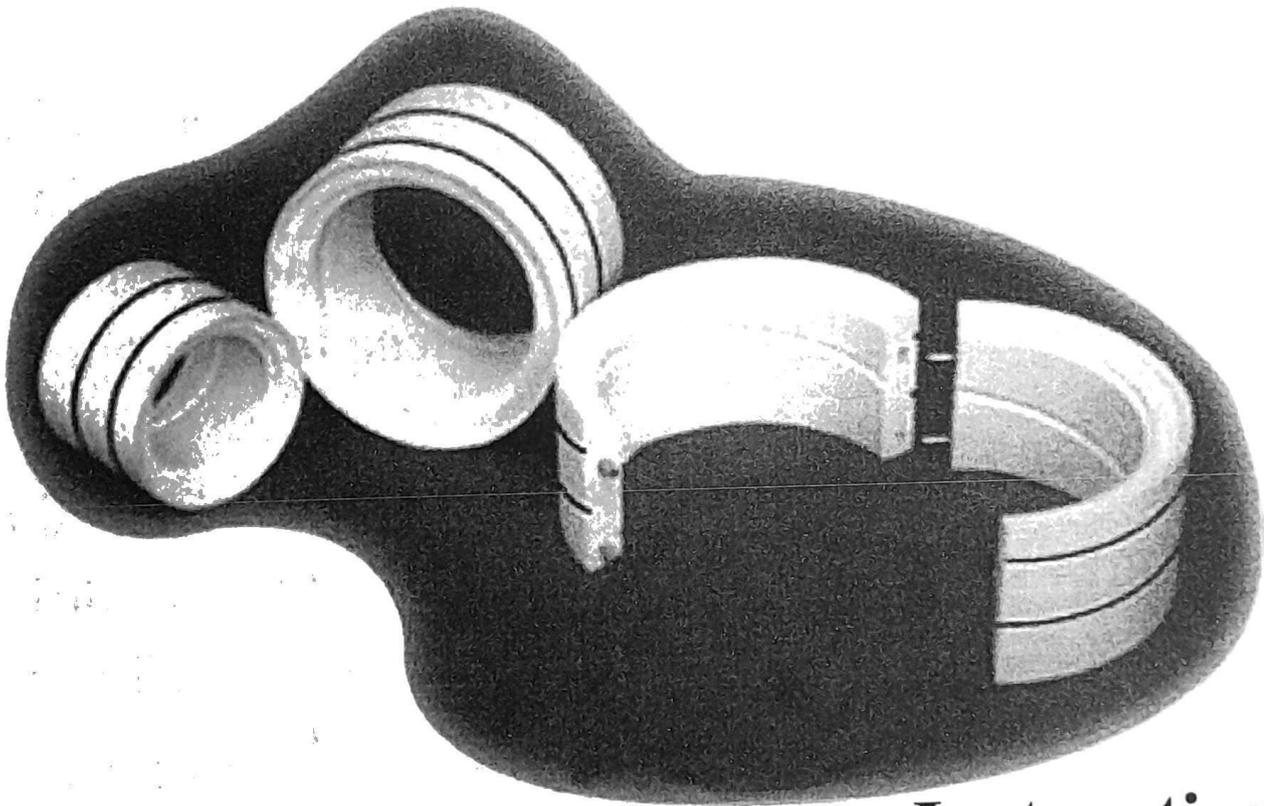
The collection groove leads directly into the main spiral, which conveys the contaminants radially inward, and out through the exit groove at the shaft. The main spiral continually decreases in diameter and the steadily increasing angular acceleration, forces abrasives deeper and deeper into the groove. This enables the groove design to decrease in depth and width as it approaches the shaft, spilling most of the excess fluid to drive the axial flow pattern in the seal cavity. Only the apex of the spiral needs to continue out to the exit, to expel the abrasives.

*SpiralTrac* Version F / Type S is designed to be easily installed with split mechanical seals, and will immediately and continuously remove particulate from the seal cavity using greatly reduced flush.

# *SpiralTrac*<sup>TM</sup>

Environmental Controller

# Version F



**Installation**

**Instructions**



**EnviroSeal**

Engineering Products Ltd  
P.O. Box 538, Waverley  
Nova Scotia, Canada B0N 2S0

Tel: 1-800-884-7325

Fax: (902) 861-3522

Website: <http://www.enviroseal.ca>

**Note:** Always use insertion tool for installation to prevent damage to spiral grooves, which would render the SpiralTrac inoperable.

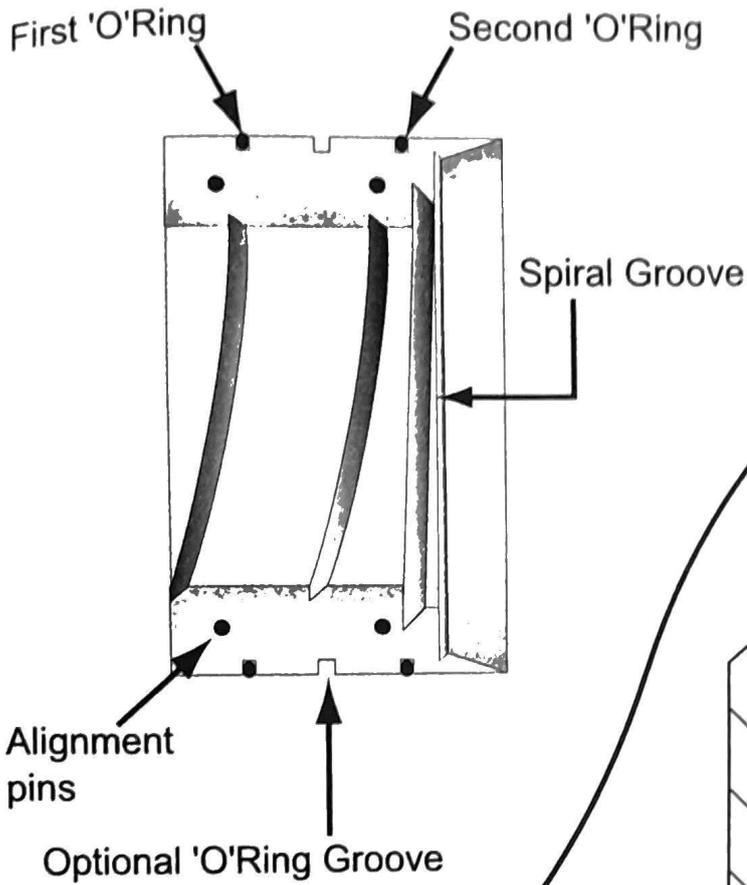
**Step 1:** Leaving the 'O'rings in place on the Version F Type S SpiralTrac, separate the two halves. Components (Fig.1) will be two halves of the SpiralTrac with alignment pins and 'O'rings in place.

**Step 2:** Place both halves over shaft while aligning pins and press together. Make sure that the spiral groove of the device is facing the mechanical seal as shown in Figure 2.

**Step 3:** Once completely reassembled, move device into seal cavity. Press device into cavity past the first 'O' ring using the insertion tool supplied.

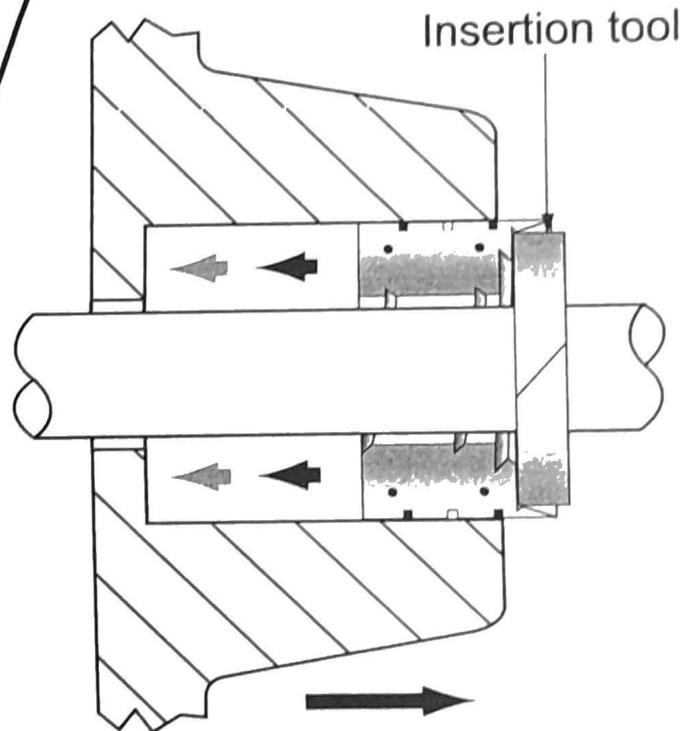
A) Press evenly to insert device further into cavity. If first 'O'ring offers a tight fit, the placement of the second 'O'ring should offer the same fit.

Cross-section of *SpiralTrac*<sup>TM</sup> Version "F" Type "S"



**Fig.1**

**Fig.2**



Spiral grooves face towards seal.

US Patents # 5,553,868  
# 5,167,418  
European patents pending

ST01242-061299

B) If the fit is loose, remove the second 'O' ring and move it into the center groove, which has been sized to offer an even tighter fit.

**Caution: Do not stretch or trim 'O' rings during this procedure as they are sized for proper fit at the time of manufacturing.**

C) If the fit is too tight, disassemble device and place into a container of chilled water for approximately 3-5 minutes. Reassemble onto shaft and press into cavity. The chilling of the device should allow for a sliding force fit.

**Step 4:** Remember to remove the insertion tool from the shaft when installation is complete.

These instructions are meant as a guide to simplify the installation of SpiralTrac™ Environmental Controllers. Should additional assistance be required when performing an installation, please contact your local distributor or EnviroSeal.

Example: The following part number identifies a device operating with greatly reduced flush (F), measured in inches (I), to fit over a 3000" shaft (3000) in a pump with right fluid rotation (R). This is a split (S) SpiralTrac™ for in-place installation with split seals in a pump with a 4.000" seal cavity bore diameter (4000). The device is made of Carbon Graphite Filled PTFE (ESC). This part number code applies to typical SpiralTrac™ configurations. For special configurations please forward a drawing to EnviroSeal for review.

### Shaft Size<sup>(4)</sup>

Actual diameter of rotating component under SpiralTrac™

### Outside Diameter<sup>(1)</sup>

Actual diameter of the seal cavity bore.

### Material

316 316 Stainless Steel  
416 416 Stainless Steel  
GLF Glass Filled PTFE (7)  
ESC Carbon Graphite Filled PTFE  
BRZ Bronze  
Ti Titanium

### Measurement Units

I Inches  
M Metric

### Shaft Rotation<sup>(3)</sup>

As Viewed From Motor End  
R Right  
L Left

**F I 3000 R S 4000 (ESC)**

## Operating Conditions (SpiralTrac Versions)

- F** **Greatly reduced flush.**  
Installed with split seals while the equipment is still in place. (see Type S)
- N** **Reduced or no flush<sup>(6)</sup> in non-fibrous applications.**  
More aggressive single spiral groove, deep air vent and exit groove, available in Types A, B, I and E.<sup>(5)</sup>
- C** **Reduced or no flush<sup>(6)</sup> in non-fibrous applications.**  
Designed for chemical service applications. Unique drain machined in bottom to effectively drain seal cavity. Available in Type I only.
- D** **Reduced or no flush<sup>(6)</sup> in fibrous applications.**  
Double spiral grooves, deeper air vent and exit groove, available in Types A, I and E.<sup>(5)</sup>
- P** **For use with packing only.<sup>(2)</sup>**  
A combined lantern ring and centrifugal separator, axially split and manufactured with a single spiral groove.

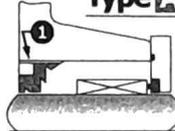


**Notes:**

- For Type A or Type E SpiralTrac™ dimensions for the counterbore or external key (Horizontal Split Case Pumps) must be provided in addition to the part number. Please contact EnviroSeal for sizing information sheets.
- For Packing Version SpiralTrac™ the width of the lantern ring as well as the size of packing and number of packing rings being replaced by SpiralTrac™ must be provided in addition to the part number. Please contact EnviroSeal for sizing information sheets.
- For Double Ended Pumps both right and left rotation devices are required.
- Depending on the pump, this may be a shaft, sleeve, or impeller hub diameter.
- When air is a problem from process or dry running, the use of flush, quench or double seals is necessary to provide face cooling.
- Elimination of flush is dependent on the type of application. Please contact EnviroSeal to determine your application's suitability for total flush elimination.
- Version P radial cross-section must be greater than .500" when using glass filled PTFE.

## Easy Installation Options (SpiralTrac Types)

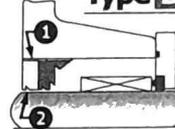
### Type A Counterbore Fit



- Press into Place using reduced or no Flush<sup>(6)</sup>:
- ✓ Drives Circulation for face cooling.
  - ✓ Forces fluid Exchange for heat removal.
  - ✓ Removes Particulate.

**Recommended Upgrades**  
① Drill 5/32" vent hole:  
✓ Releases Air when flooding.  
✓ Releases Air when flooding.

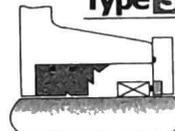
### Type B Bore Fit



- Press into Place using reduced Flush:
- ✓ Drives Circulation for face cooling.
  - ✓ Enhances fluid Exchange for heat removal.
  - ✓ Positions Particulate so a small flush (5 -7 GPH/23-32 LPH) can force it under the throat restriction and out of the cavity.

**Recommended Upgrades**  
① Drill 5/32" vent hole:  
✓ Releases Air when flooding.  
② Extend exit groove:  
✓ Forces fluid Exchange and removes particulate without flush<sup>(6)</sup> while eliminating shaft erosion.

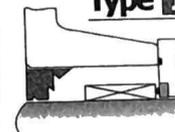
### Type S Axially Split Device (Typical for Split Seals)



- Press into Place using reduced Flush:
- ✓ Drives Circulation for face cooling.
  - ✓ Enhances fluid Exchange for heat removal.
  - ✓ Positions Particulate for removal by small flush (5-7 GPH/23-32 LPH).

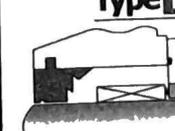
**No Upgrades**  
Not practical due to installation while the pump is assembled.

### Type I Impeller Side Installation (Typical for Open Bore Cavities)



- Press into Place using reduced or no Flush<sup>(6)</sup>:
- ✓ Superior Air venting.
  - ✓ Drives Circulation for face cooling.
  - ✓ Forces fluid Exchange for heat removal.
  - ✓ Removes Particulate.

### Type E Externally Keyed (Typical for Horizontal Split Case Pumps)



- Installed using reduced or no Flush<sup>(6)</sup>:
- ✓ Superior Air release when vent specified.
  - ✓ Drives Circulation for face cooling.
  - ✓ Forces fluid Exchange for heat removal.
  - ✓ Removes Particulate.

AVAILABLE WORLDWIDE  
THROUGH  
A.W. CHESTERTON CO.

US PATENTS # 5,553,868  
# 5,167,418  
Euro.Pat. App.0 912 848

**EnviroSeal**  
Engineering Products Limited

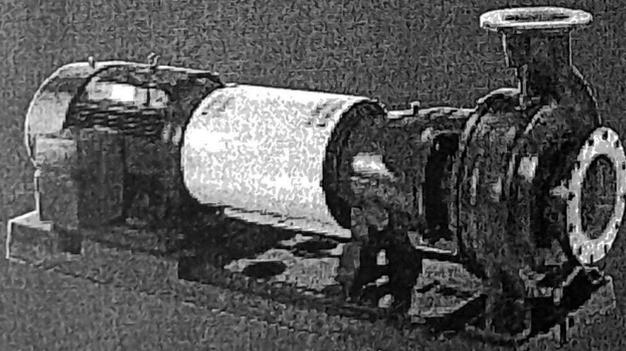
P.O. Box 538, Waverley  
Nova Scotia, Canada B0N 2S0  
Tel (902) 861-3464 Fax (902) 861-3522  
Website <http://www.enviroseal.ca>

ST01482-050402



## Wide Range of Materials

Stocked in Cast Iron and 316 Stainless Steel. Available in any machinable alloy including 317SS, 317LSS, 316LSS, Alloy 20, CD4MCu, 904L, 254 S MO<sup>®</sup>, Titanium, Hastelloy B&C.



# Goulds Model 3175

## Paper Stock/Process Pumps Designed to Handle the Toughest Jobs in the Pulp & Paper and Process Industries

- Capacities to 28,000 GPM (6360 m<sup>3</sup>/h)
- Heads to 350 feet (107 m)
- Temperatures to 450°F (232°C)
- Pressures to 285 PSIG (1965 kPa)

## Design Features

- Back Pull-Out
- Fully Open Impeller
- External Impeller Adjustment
- Renewable Wear Parts
- Maximum Sealing Flexibility
- Heavy Duty Construction
- Maximum Parts Interchangeability

## Services

**Pulp & Paper** Paper Stock through 6% Consistency, Black Liquor, Hydropulper and Broke Service, Low NPSH Digester Circulation, Blow Tank to Screens, Primary Screens Rejects, High Density Chlorine Tower to Washer, Flotation Cell Circulation

**Chemical** Evaporator and Reboiler Circulation, Slurry Services

**Petroleum** Corrosive/Abrasive Crude, Catalyst Slurry, Coke Fines

**Steel** Mill Descaling, Waste Treatment, Venturi Scrubber, Electro-Galvanizing Recirculation

**Food** Fruit Pulp, Grain Mash and Spent Grains, Evaporator Recirculation, Beet and Cane Sugar, Corn Products

**General** Waste Treatment, Air Pollution Abatement, Acid Mine Water, Textile Slurries

# Model 3175 Paper Stock/Process Pumps

## Heavy Duty Design Features for Handling the Toughest Services

**STANDARD LABYRINTH SEALS (Not Illustrated)**  
Eliminate lubricant contamination for extended bearing life.

**RENEWABLE SHAFT SLEEVE**  
Hook-type sleeve is positively driven by impeller key. Free to expand with temperature changes. Replaceable stuffing box bushing minimizes packing and sleeve maintenance.

**VERTICAL CENTERLINE DISCHARGE**  
Self-venting design for air handling. Casing provides maximum piping support.

**RENEWABLE SIDEPLATE**  
Heavy suction sideplate minimizes maintenance costs. Positively sealed with O-ring and gasket.

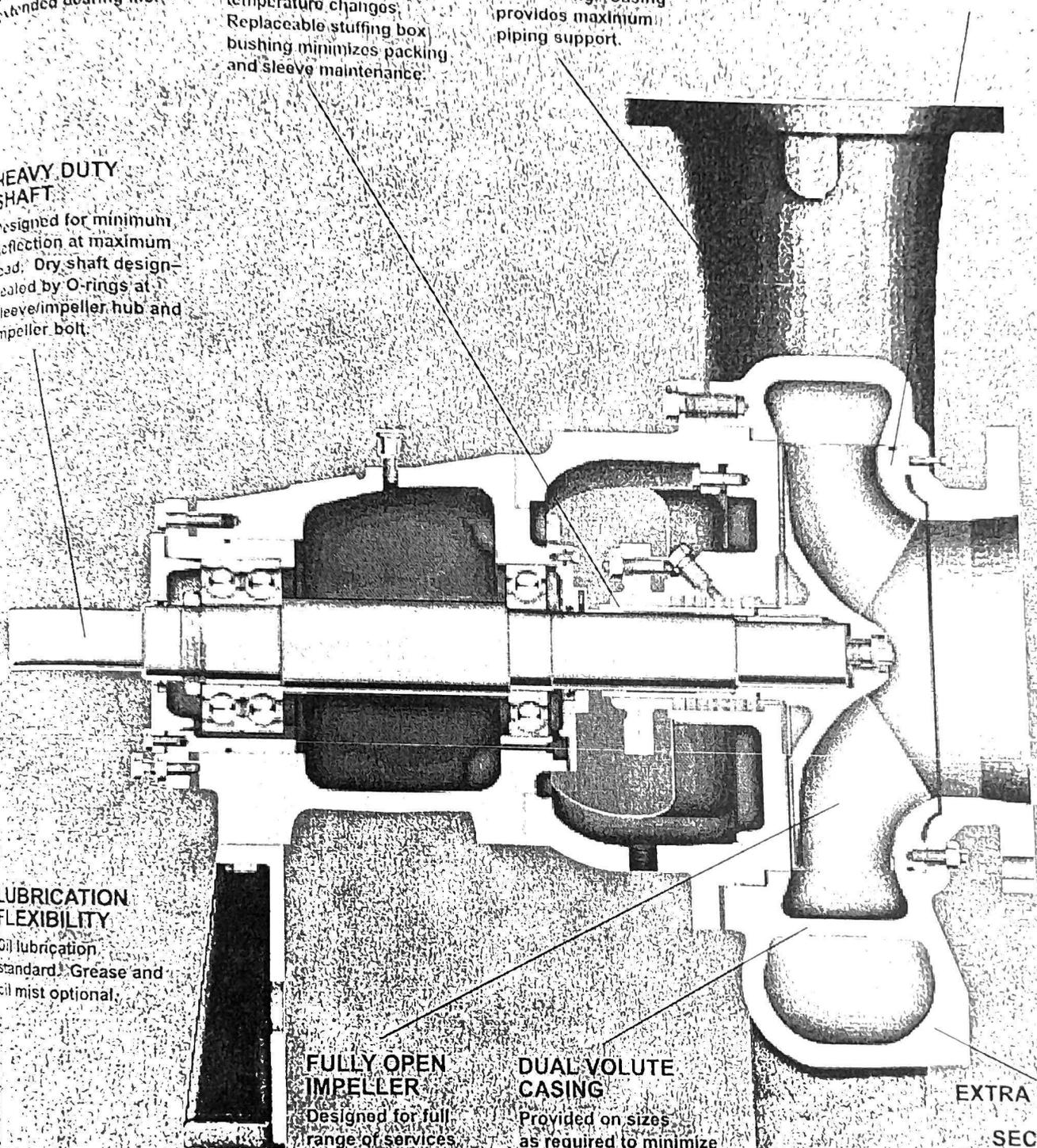
**HEAVY DUTY SHAFT**  
Designed for minimum deflection at maximum load. Dry shaft design—sealed by O-rings at sleeve/impeller hub and impeller bolt.

**LUBRICATION FLEXIBILITY**  
Oil lubrication standard. Grease and oil mist optional.

**FULLY OPEN IMPELLER**  
Designed for full range of services. Back-pump-out vanes minimize stuffing box pressure; help prevent solids from entering seal chamber.

**DUAL VOLUTE CASING**  
Provided on sizes as required to minimize radial unbalance for long packing, mechanical seal and bearing life.

**EXTRA THICK WALL SECTIONS**  
For extended wear life and reduced maintenance.

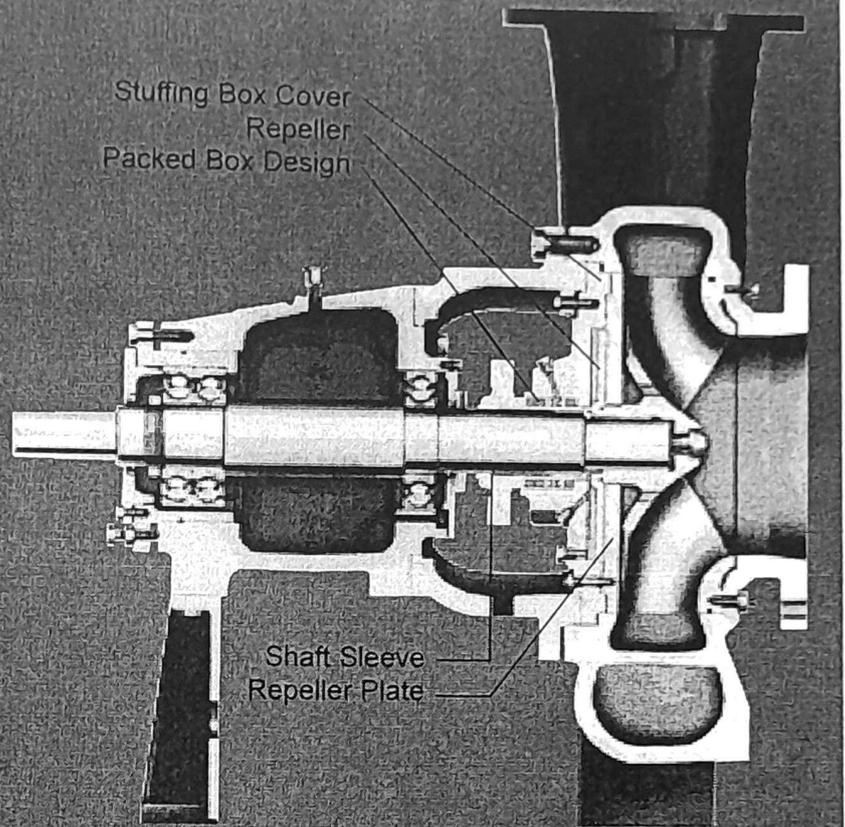
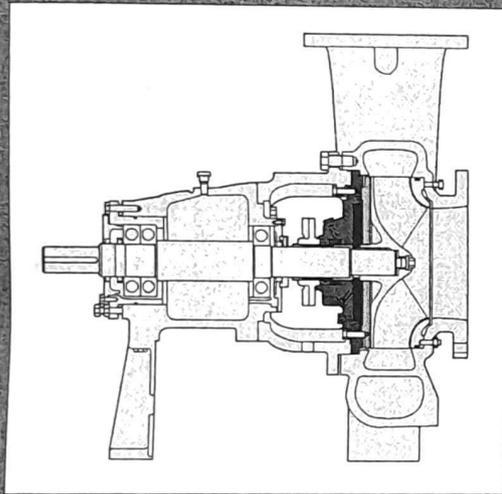


# Maximum Sealing Flexibility

## Dynamic Seal

### For Elimination of Mechanical Seal Problems; Reduced Maintenance

Goulds Dynamic Seal pumps are designed to handle the tough applications where conventional mechanical seals or packing require outside flush and constant, costly attention. The major advantage is that external seal water is not required, thus eliminating leakage, pumpage contamination, product dilution and problems associated with piping from a remote source.



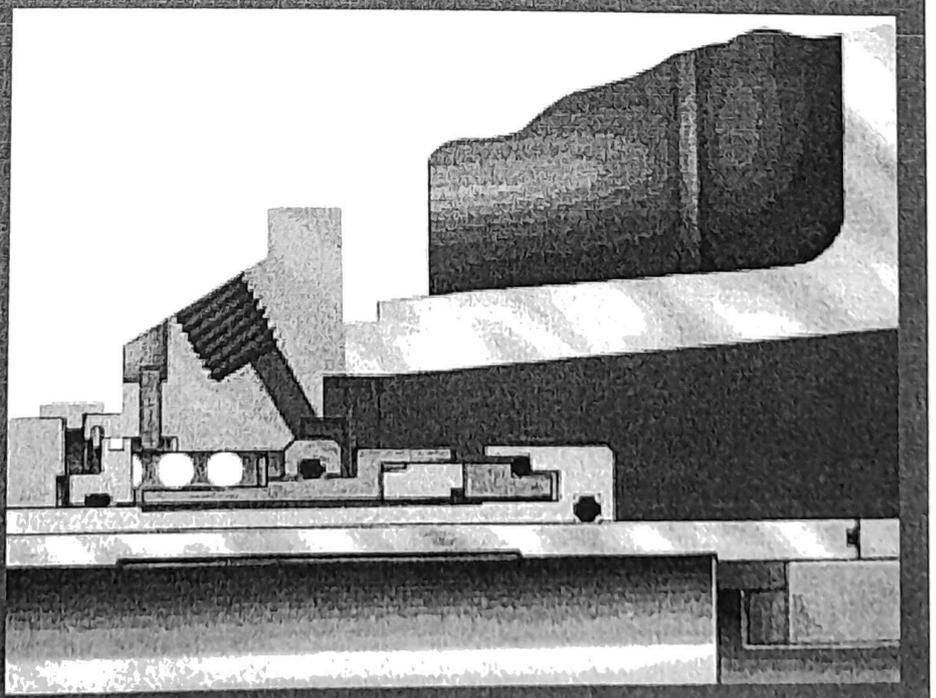
Standard Model 3175 pumps can be fitted with a repeller between the stuffing box and impeller. At startup, the repeller functions like an impeller and pumps liquid from the stuffing box. When the pump is shut down, a conventional static seal prevents pumpage from leaking.

◀ The 3175 is easily field converted to Dynamic Seal. Goulds retrofit kit includes repeller, stuffing box cover, repeller plate, shaft sleeve and choice of static sealing arrangement.

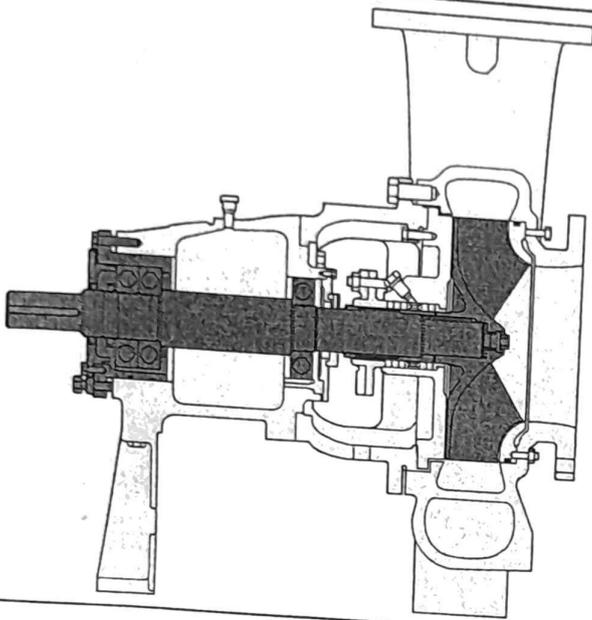
## TaperBore™ Seal Chamber

Goulds optional TaperBore™ seal chamber features an enlarged bore for improved lubrication and cooling of the mechanical seal. The tapered throat keeps solids away from seal faces and from building up in the seal chamber. Seal life is remarkably extended.

Goulds TaperBore™ seal chamber and cartridge mechanical seal. A full range of other seal types is available.

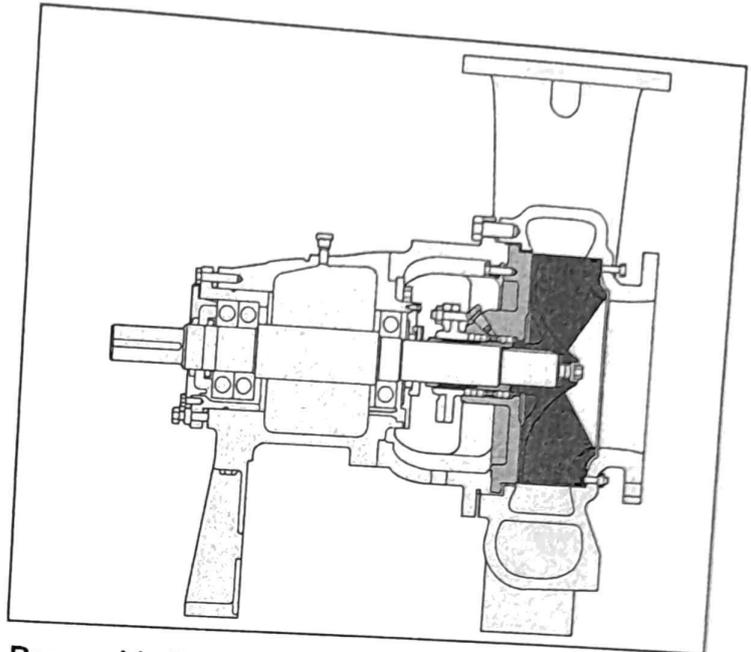


# Long Life / Low Maintenance / Reliable Operation



## External Impeller Adjustment

Impeller clearance can be easily reset by external adjustment to maintain hydraulic performance. Delivers long time energy savings, while downtime is kept to a minimum.

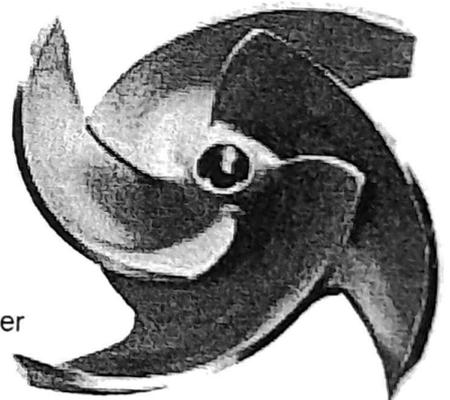
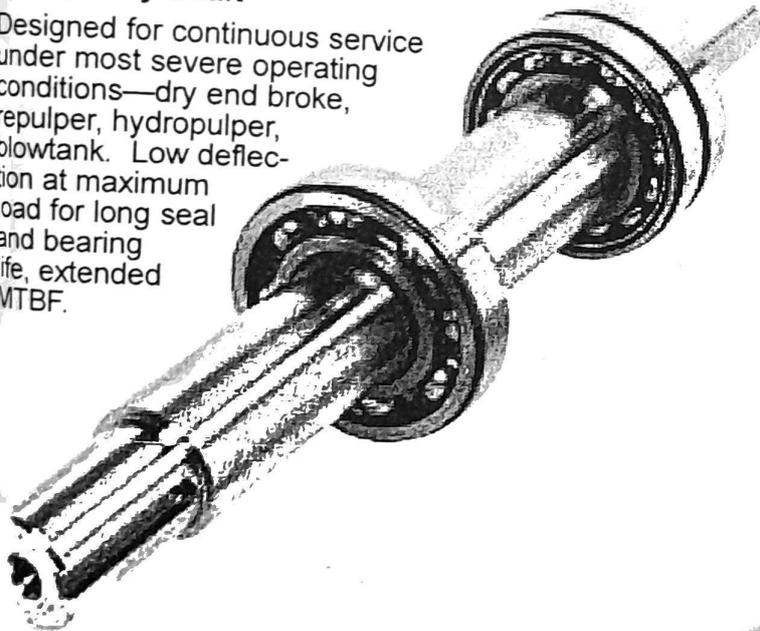


## Renewable Wear Parts

Low maintenance costs because all wear parts...suction sideplate, impeller, stuffing box cover, shaft sleeve and throat bushing...are easily replaced.

## Heavy Duty Shaft

Designed for continuous service under most severe operating conditions—dry end broke, repulper, hydropulper, blowtank. Low deflection at maximum load for long seal and bearing life, extended MTBF.

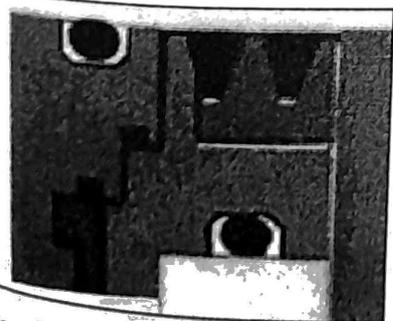
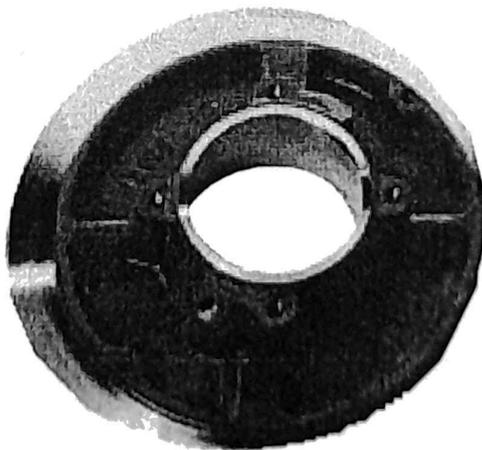


## Fully Open Impeller

Special warped vane, heavy duty open type for paper stock handling. Back pump-out vanes reduce stuffing box pressure, and help prevent solids from entering sealing chamber.

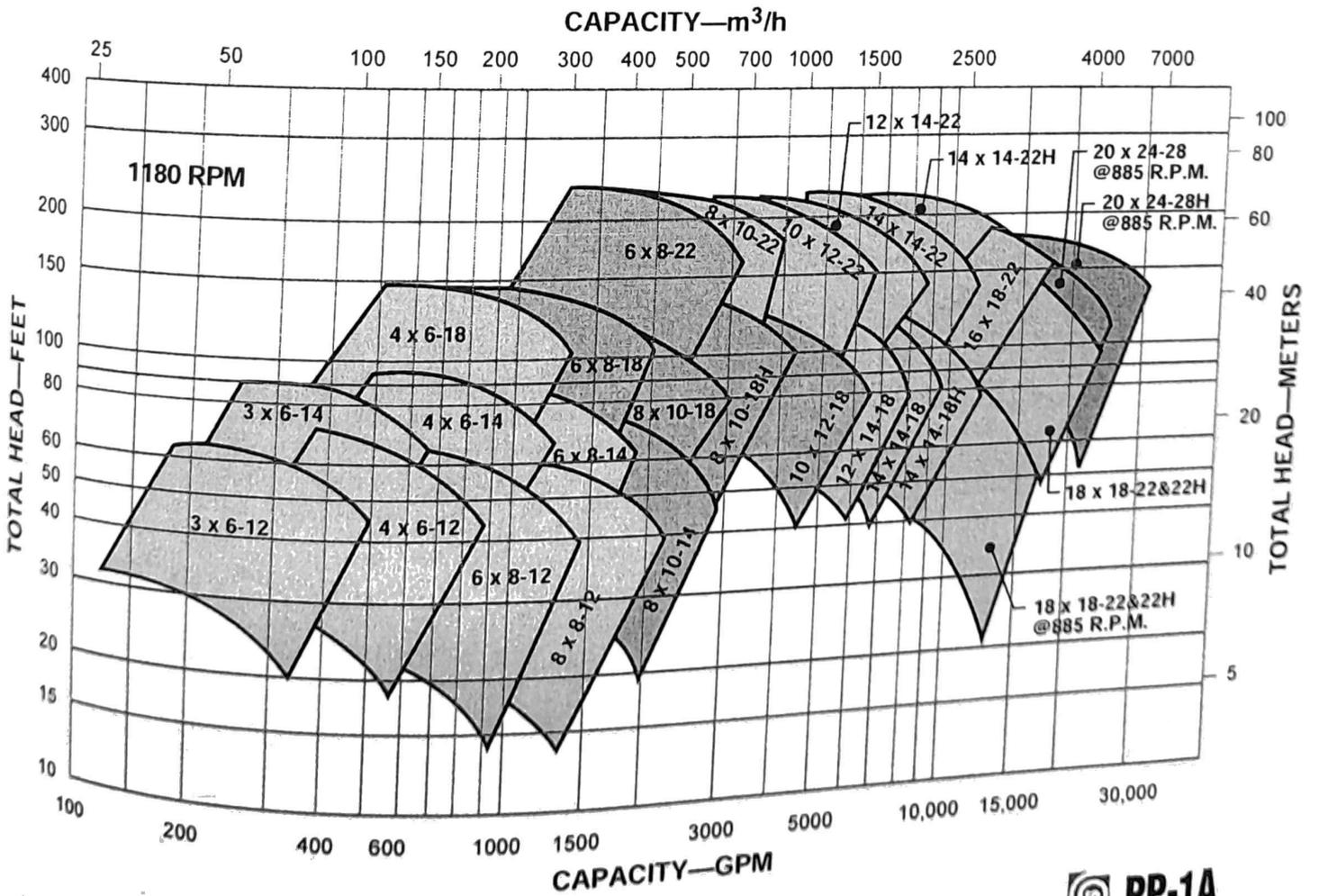
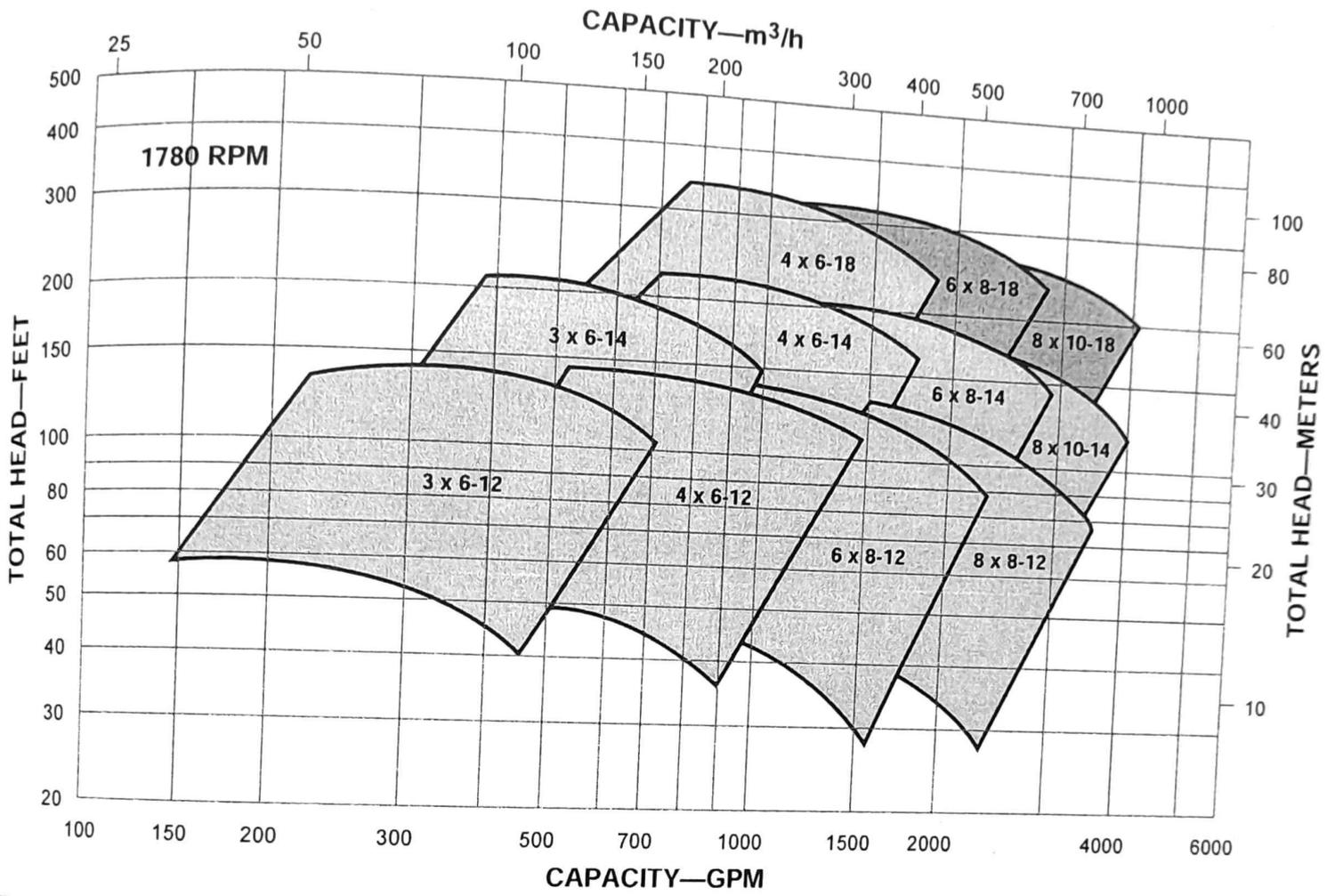
## Optional TaperBore™ Seal Chamber

Features an enlarged bore for improved lubrication and cooling of the mechanical seal. The tapered throat keeps solids away from seal faces and from building up in the chamber. Seal life is remarkably extended.



**Standard Labyrinth Oil Seals**  
Prevent contamination of lubricant for extended bearing life.

# Hydraulic Coverage Model 3175

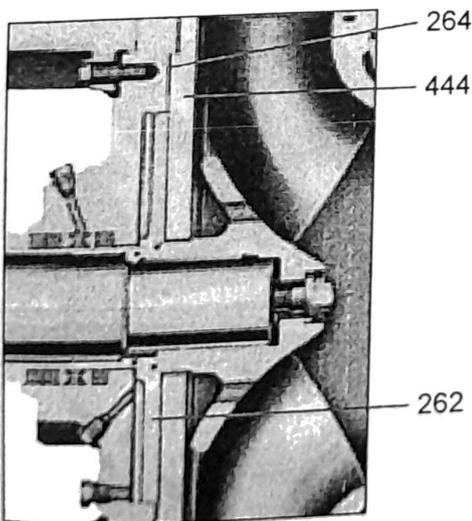
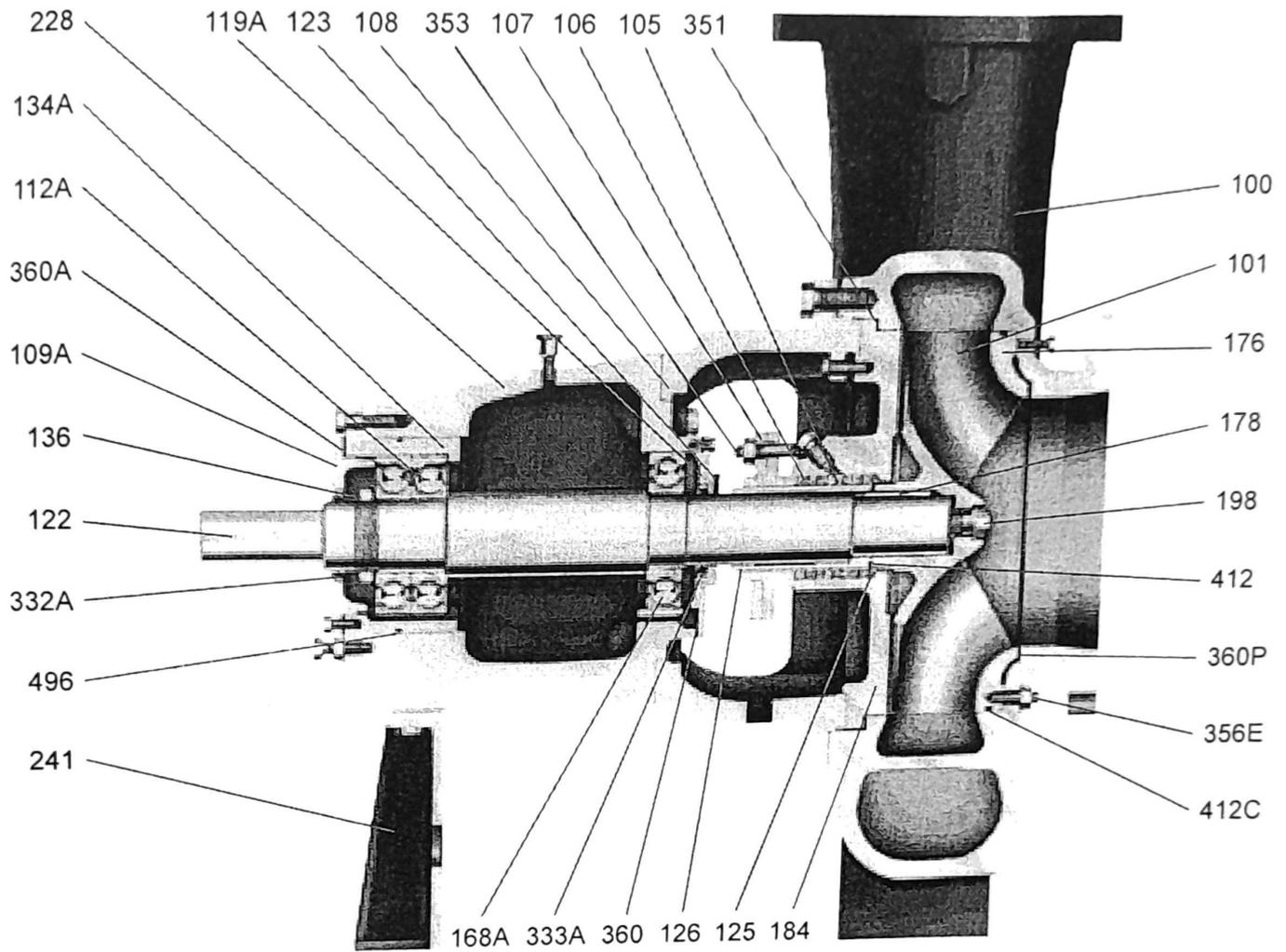


# Parts List and Materials of Construction

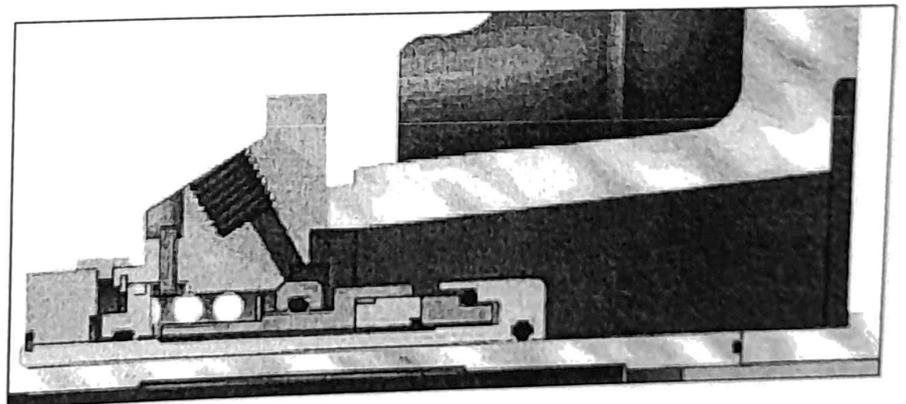
Item Number	Part Name	Material			
		All Iron/ 316SS Trim	All 316SS	All 317SS	All CD4MCu
100	Casing				
101	Impeller	Cast Iron	316SS	317SS	CD4MCu
105 <sup>1</sup>	Lantern Ring	316SS	316SS	317SS	CD4MCu
106	Stuffing Box Packing	Glass-Filled Teflon*			
107	Gland, Packed Box	Graphitized Non-Asbestos Fibers			
108	Frame Adapter	316SS	316SS	317SS	316SS
109A	Bearing End Cover—Coupling End	Cast Iron			
112A	Thrust Bearing	Cast Iron			
119A	Bearing End Cover—Inboard	Duplex Angular Contact—Back-to-Back			
122	Shaft	Cast Iron			
123	Deflector	AISI 4140	316SS		AISI 4140
125	Stuffing Box Throat Bushing	Cast Iron			
126 <sup>2</sup>	Shaft Sleeve (Packed Box)	Cast Iron	316SS	317SS	CD4MCu
134A	Bearing Housing	316SS Hard Metal Coated		317SS	316SS HMC
136	Bearing Locknut and Lockwasher	Cast Iron			
168A	Radial Bearing	Steel			
174	Suction Piece	Steel			
176	Suction Sideplate	Cast Iron	316SS	317SS	CD4MCu
178	Impeller Key	Cast Iron	316SS	317SS	CD4MCu
178J	Repeller Sleeve Key (Dynamic Seal)	AISI 303			
184	Stuffing Box Cover	AISI 303			
198	Impeller Screw	Cast Iron	316SS	317SS	CD4MCu
228	Bearing Frame	316SS		317SS	316SS
241	Frame Foot	Cast Iron			
262	Repeller (Dynamic Seal)	Cast Iron			
264	Gasket—Backplate to S.B. Cover (Dynamic Seal)	316SS	316SS	317SS	CD4MCu
265	Stud/Nut—Repeller Plate to S.B. Cover (Dynamic Seal)	Aramid Fiber with EPDM Rubber Binder			
332A	Oil Seal—Coupling End	AISI 303/AISI 304			
333A	Oil Seal—Inboard	Buna Rubber			
351	Gasket—S.B. Cover to Casing	Buna Rubber			
353	Gland Stud/Nut	Aramid Fiber with EPDM Rubber Binder			
356E	Stud/Nut—Suction Sideplate	AISI 303/AISI 304			
360	Gasket—Inboard Bearing End Cover	AISI 303/AISI 304			
360A	Gasket—Outboard Bearing End Cover	Vellumoid			
360P	Gasket—Sideplate to Casing	Vellumoid			
412	O-ring—Shaft Sleeve	Aramid Fiber with EPDM Rubber Binder			
412B	O-ring—Impeller Screw	Teflon*			
412C	O-ring—Suction Sideplate	Teflon*			
412U	O-ring—Repeller (Dynamic Seal)	Buna-N.			
444	Backplate (Dynamic Seal)	316SS	316SS	317SS	CD4MCu
494	Cooling Coil (Optional)	Copper/Steel			
496	O-ring—Bearing Housing	Buna-N.			

Group XL only: Cast Iron for All/316SS trim, 316SS for All 316SS, 317SS for All 317SS, 316SS for All CD4MCu.  
 Standard sleeve for 317SS pumps with packed box is 317SS and is not hard-coated. Standard sleeve for pumps with mechanical seal is 316SS (317SS on all 317SS).  
 Registered trademark, E.I. DuPont.

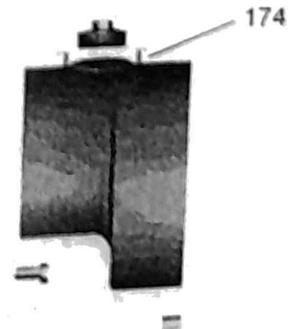
# Sectional View Model 3175



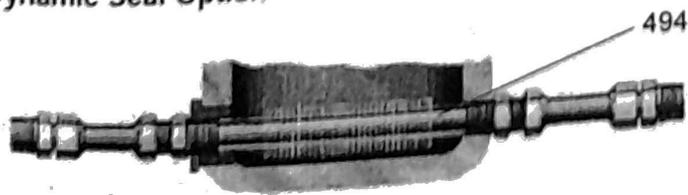
Dynamic Seal Option



TaperBore™ Seal Chamber and Mechanical Seal Option



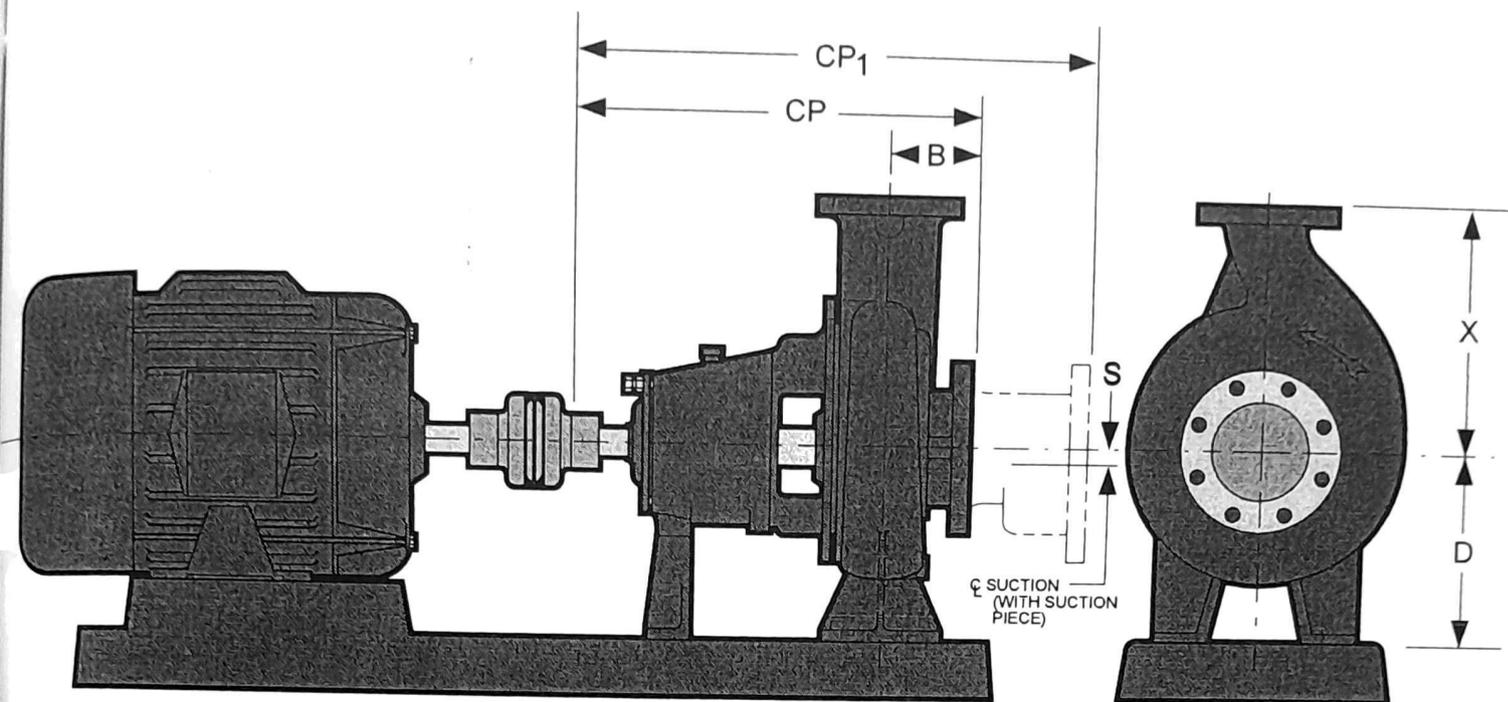
Optional Suction Piece



Optional High Efficiency Finned Cooler

# Dimensions Model 3175

All dimensions in inches and (mm). Not to be used for construction.



## DIMENSIONS

Group	Pump Size	Disch. Size	Suct. Size	Suct. Size*	D	X	B	CP	CP <sub>1</sub>	S	Shaft Diameter at Coupling	Bare Pump Weight* Lbs. (kg.)
S	3x6-12	3	6	8	-	13 (330)	7 1/4 (184)	39 3/4 (1010)	51 (1295)	1 (25)	1.875 (47.63)	745 (338)
	4x6-12	4	6	10	12 1/2 (318)	14 1/2 (368)						810 (367)
	6x8-12	6	8			16 (406)				975 (442)		
	8x8-12	8	8	12	14 1/2 (368)	19 (483)	8 1/8 (206)	41 1/8 (1045)	52 3/8 (1330)	2 (51)	1.874 (47.60)	1205 (547)
	3x6-14	3	6	8	12 1/2 (318)	13 (330)	7 1/4 (184)	39 3/4 (1010)	51 (1295)	1 (25)	1.875 (47.63)	850 (386)
	4x6-14	4	6	10		14 1/2 (368)						925 (420)
	4x6-18	4	6	10		16 (406)				1050 (476)		
	6x8-14	6	8	12		16 (406)	1100 (499)					
M	6x8-18	6	8	12	14 1/2 (368)	18 (457)	7 1/4 (184)	39 3/4 (1010)	51 (1295)			1525 (692)
	6x8-22	6	8	12	17 (432)	21 (533)						1700 (771)
	8x10-14	8	10	14	14 1/2 (368)	19 (483)	8 1/8 (206)	41 1/8 (1045)	53 (1346)	2 (51)	2.375 (60.33) 2.374 (60.30)	1550 (703)
	8x10-18	8	10	14	14 1/2 (368)	21 (533)						1600 (726)
	8x10-18H	8	10	14	17 (432)	21 (533)						1725 (782)
	8x10-22	8	10	14	17 (432)	23 (584)						1800 (816)
	10x12-18	10	12	16	20 (508)	23 (584)						1900 (862)
L	10x12-22	10	12	16	20 (508)	25 (635)	8 1/8 (206)	41 1/8 (1045)	53 (1346)	2 (51)		2050 (930)
	12x14-18	12	14	18	20 (508)	25 (635)						2000 (907)
	12x14-22	12	14	18	20 (508)	27 (686)						2350 (1066)
	14x14-18	14	14	20	20 (508)	27 (686)	8 7/8 (225)	42 1/2 (1080)	55 (1397)	3 (76)	3.375 (85.73) 3.374 (85.70)	2125 (964)
	14x14-18H				20 (508)	30 (762)						2800 (1270)
	14x14-22	14	14	20	22 (559)	30 (762)						3800 (1724)
	14x14-22H	14	14	20	28 (711)	32 (813)						12 3/4 (324)
	16x18-22	16	18	-	28 (711)	34 (864)	9 7/8 (251)	43 1/2 (1105)	-	-	4300 (less suction piece)	
18x18-22	18	18	-	28 (711)	34 (864)	16 5/8 (422)	50 1/4 (1276)	-	-			
18x18-22H	18	18	-	28 (711)	34 (864)							
XL	20x24-28	20	24	-	30 (762)	40 (1016)	17 1/2 (445)	66 3/4 (1695)	-	-	3.875 (98.43)	5300 (2404)
	20x24-28H										3.874 (98.40)	

\*with Suction Piece

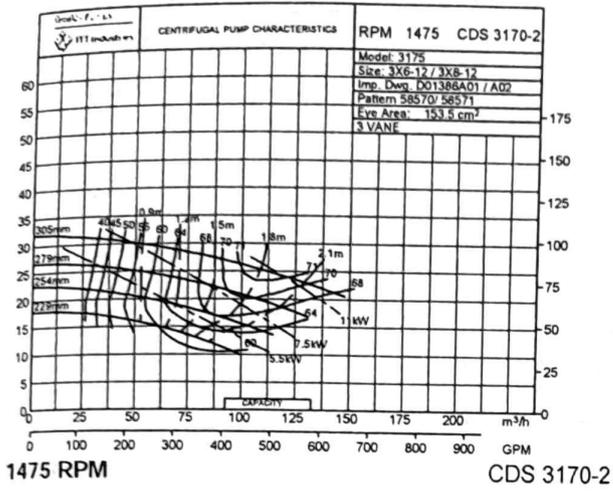


# Construction Details

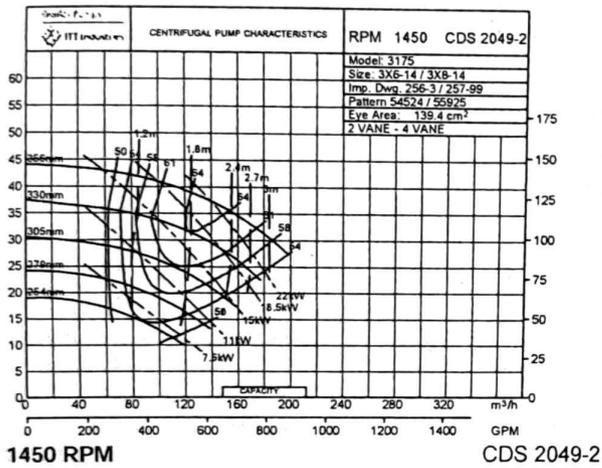
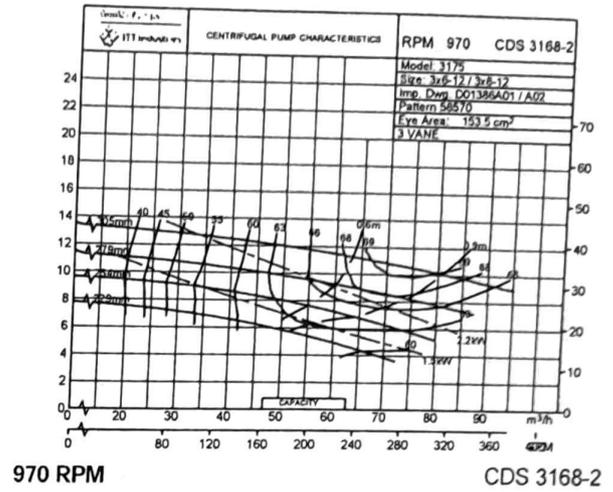
All dimensions in inches and (mm)

	S Group	M Group	L Group	XL Group	
Temperature Limits	Maximum Liquid Temperature— Oil Lubrication Without Cooling	250°F (121°C)			
	Maximum Liquid Temperature— Oil Lubrication with Frame Cooling	350°F (177°C)-Cast Iron 450°F (232°C)-Steel			
	Maximum Liquid Temperature— Grease Lubrication	250°F (121°C)			
Power Limits	HP (kW) per 100 RPM— 904L and Alloy 20 Construction	23.8 (17.8)	63.5 (47.4)	113.6 (84.7)	
	HP (kW) per 100 RPM— Constructions other than Alloy 20	31.9 (23.8)	82.2 (61.3)	129.0 (96.2)	
Shaft Diameter	At Impeller	2 3/4 (70)	3 3/8 (86)	3 7/8 (98)	
	Under Shaft Sleeve	3 5/16 (84)	4 5/16 (109)	5 (127)	
	At Coupling	2 3/8 (60)	3 3/8 (86)	3 7/8 (98)	
	Between Bearings	4 (102)	4 7/8 (124)	6 (152)	
Sleeve	3 (76)	3 3/4 (95)	4 3/4 (121)	5 1/2 (140)	
Bearings	Thrust (Coupling End)	MRC 7317 D.B. or equal	MRC 7222 P.D.B. or equal	MRC 7326 D.B. or equal	
	Radial (Inboard or Pump End)	MRC 313S or equal	MRC 317M or equal	MRC 326R or equal	
	Bearing Span	12 1/4 (311)	11 11/16 (297)	11 1/8 (283)	18 (457)
	Shaft Overhang	10 11/16 (271) to 11 27/32 (301)	11 13/32 (290) to 12 9/16 (319)	11 7/8 (302) to 13 9/16 (344)	19 (483)
Stuffing Box	Bore	4 (102)	4 3/4 (121)	5 3/4 (146)	
	Depth—to Stuffing Box Bushing		3 11/16 (94)	6 3/4 (171)	
	Packing Size		1/2 x 1/2 (13 x 13)	1 x 1 (25 x 25)	
	Distance from End of Stuffing Box to Nearest Obstruction	3 1/8 (79)		3 1/4 (83)	3 3/4 (95)

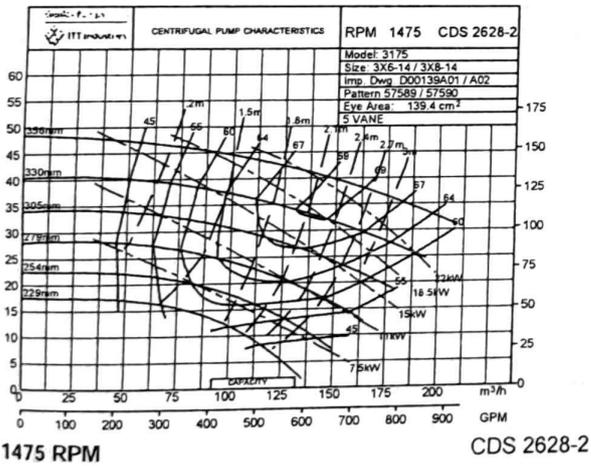
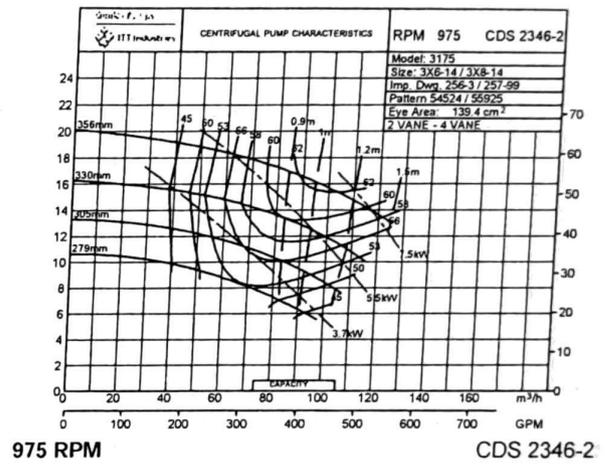
# Hz Performance Curves Model 3175



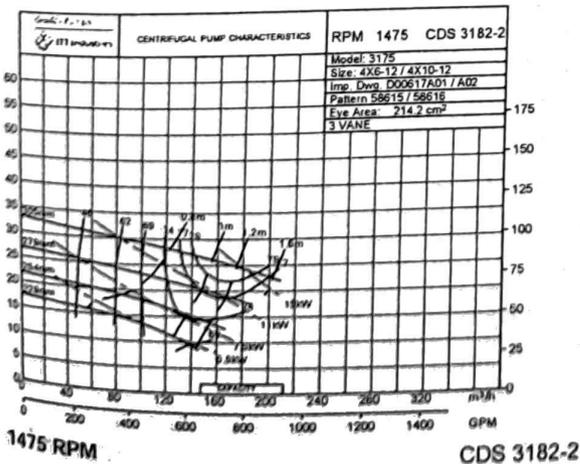
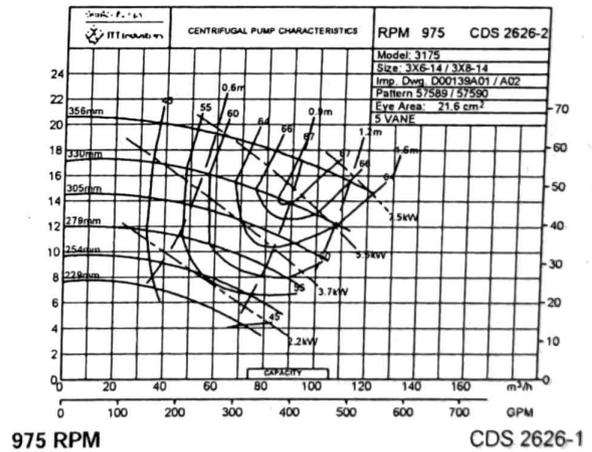
**S**  
**3 x 6-12**  
**3 Vane**



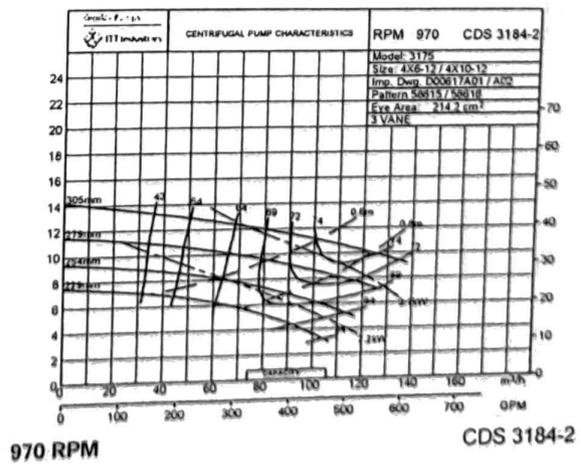
**S**  
**3 x 6-14**  
**2/4 Vane**



**S**  
**3 x 6-14**  
**5 Vane**

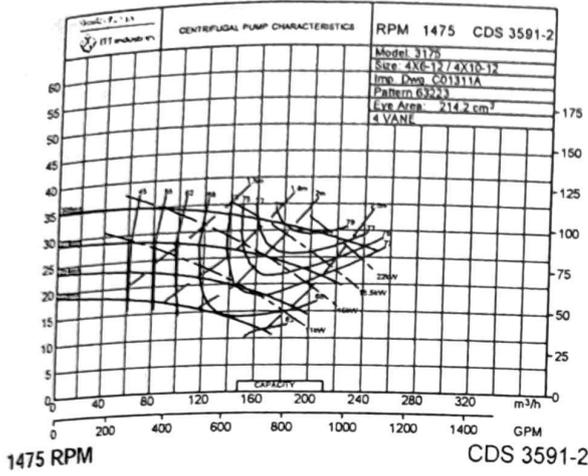


**S**  
**4 x 6-12**  
**3 Vane**

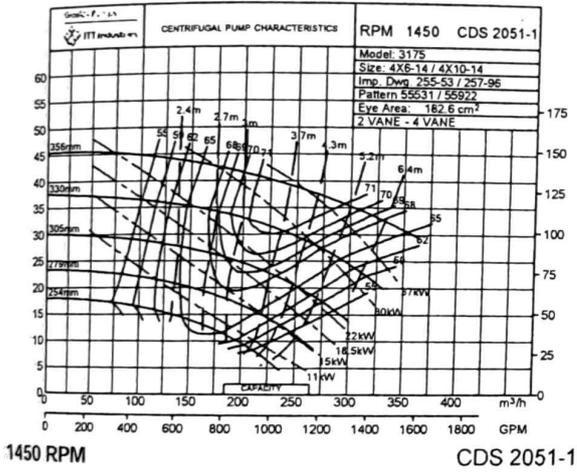
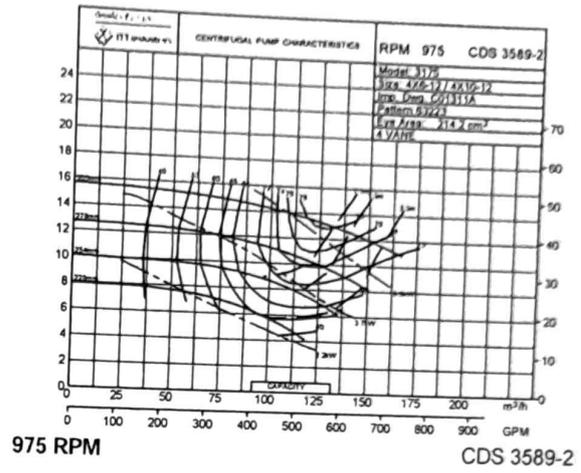


**PP-1A**

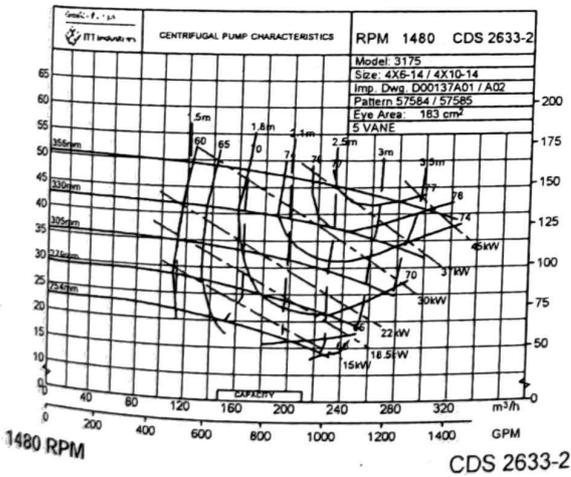
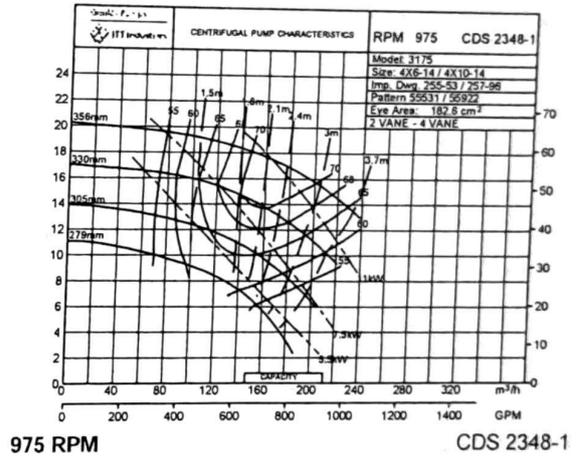
# 50 Hz Performance Curves Model 3175



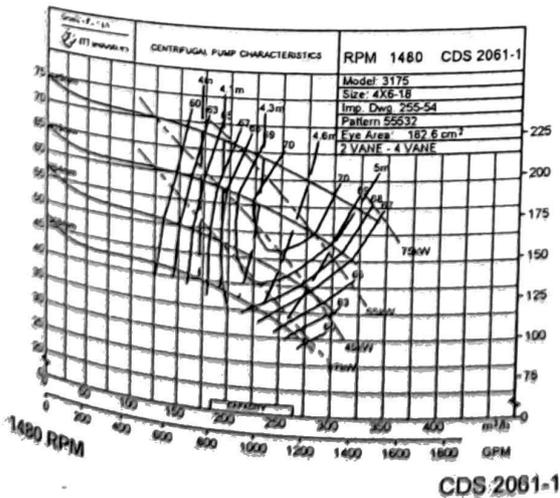
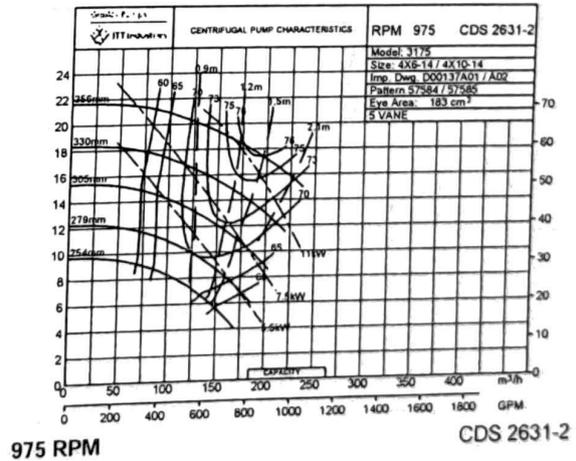
**S**  
**4 x 6-12**  
**4 Vane**



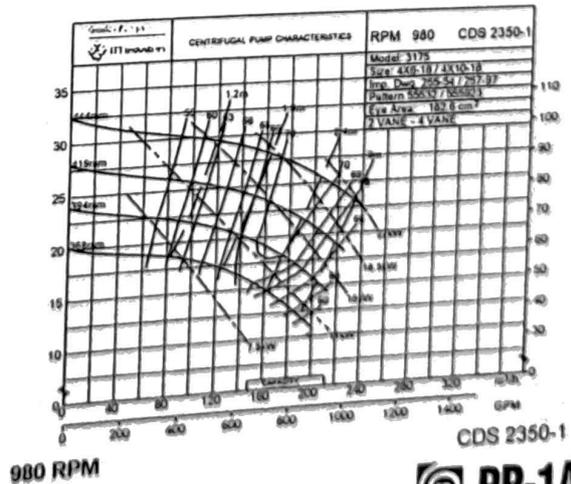
**S**  
**4 x 6-14**  
**2/4 Vane**



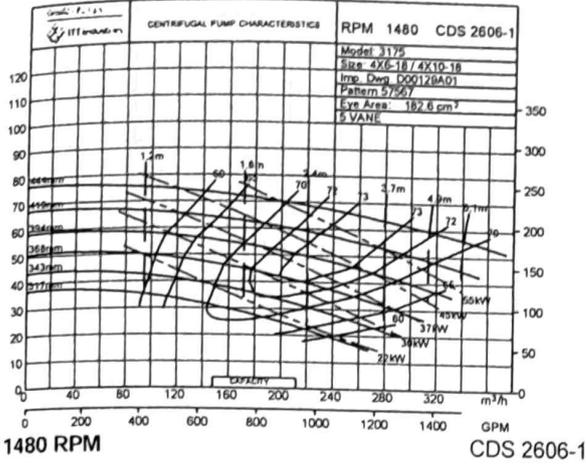
**S**  
**4 x 6-14**  
**5 Vane**



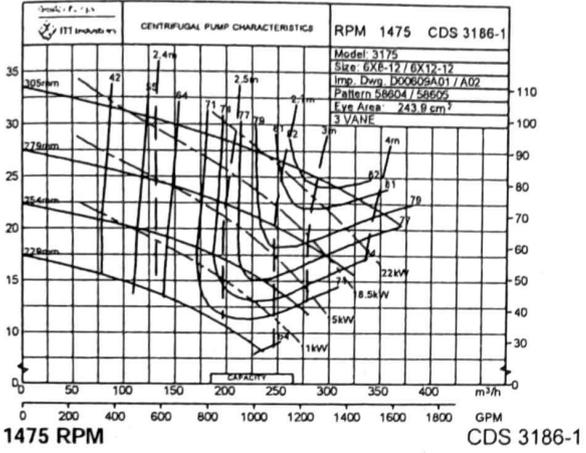
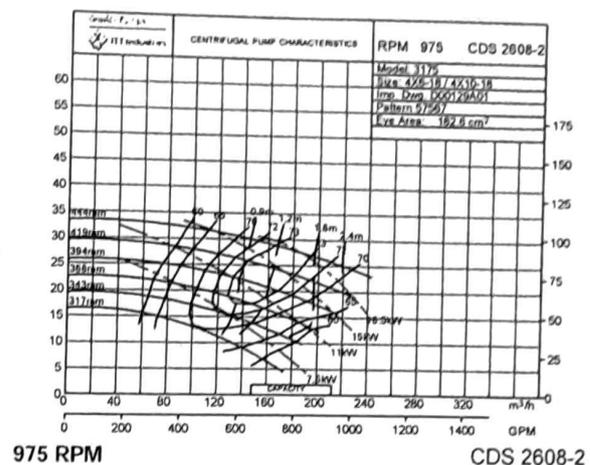
**S**  
**4 x 6-18**  
**2/4 Vane**



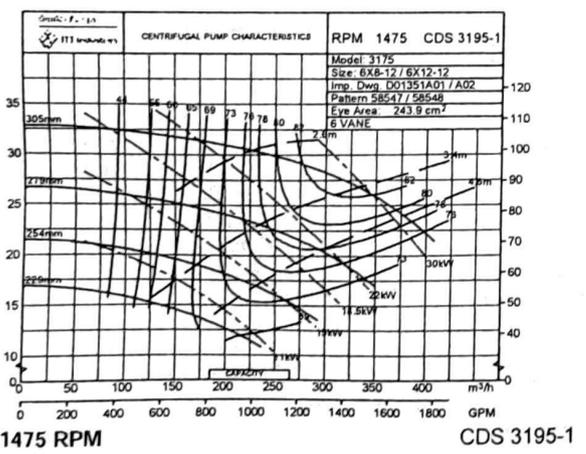
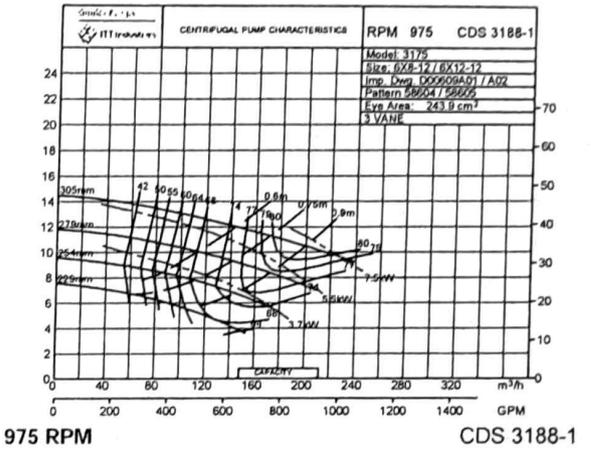
# Hz Performance Curves Model 3175



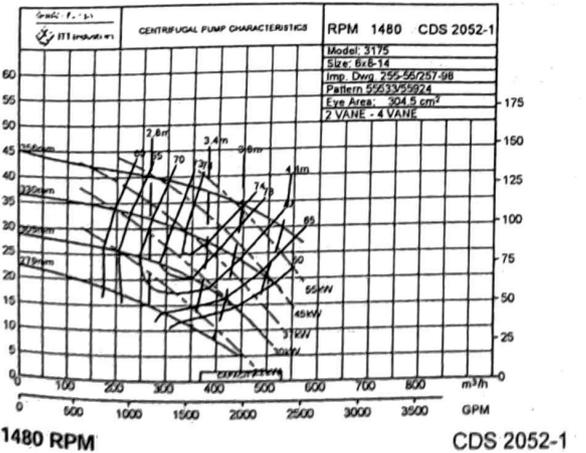
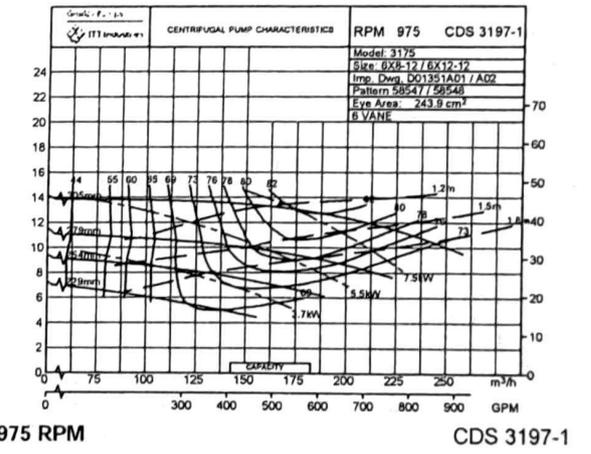
**S**  
4 x 6-18  
5 Vane



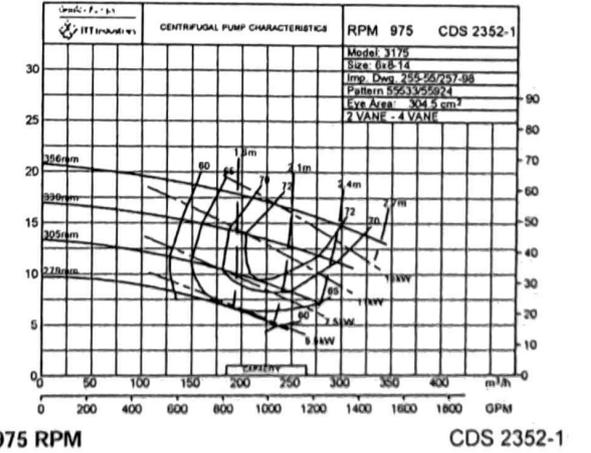
**S**  
6 x 8-12  
3 Vane



**S**  
6 x 8-12  
6 Vane

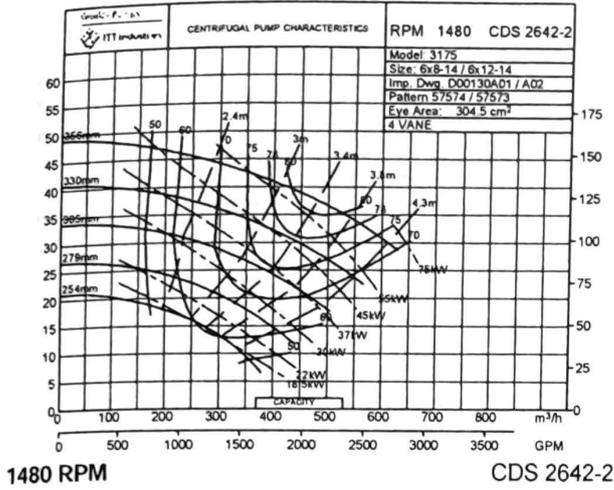


**S**  
6 x 8-14  
2/4 Vane

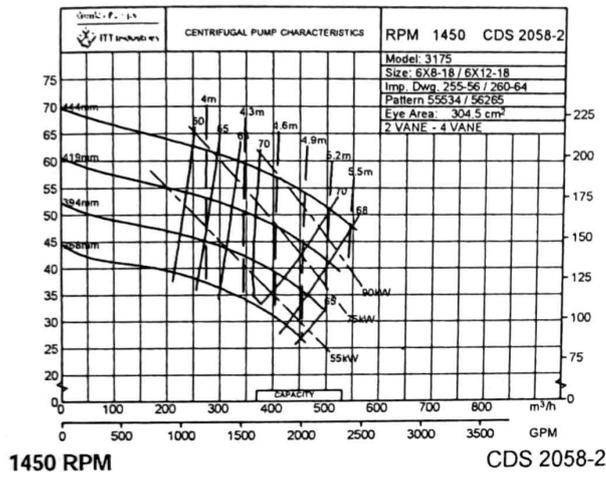
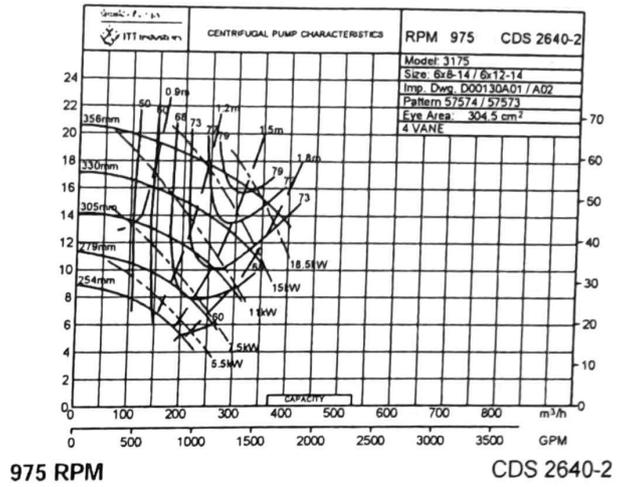


**PP-1A**

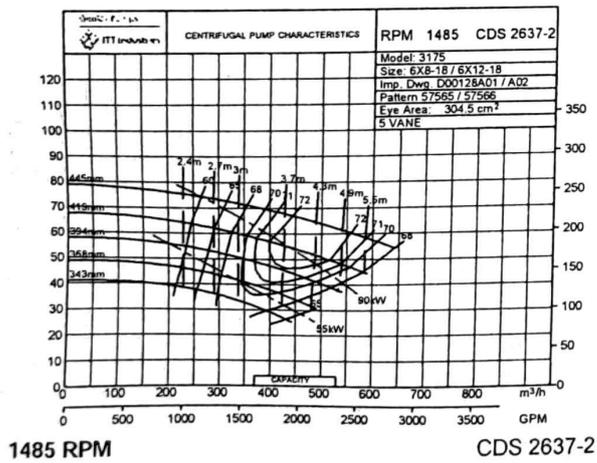
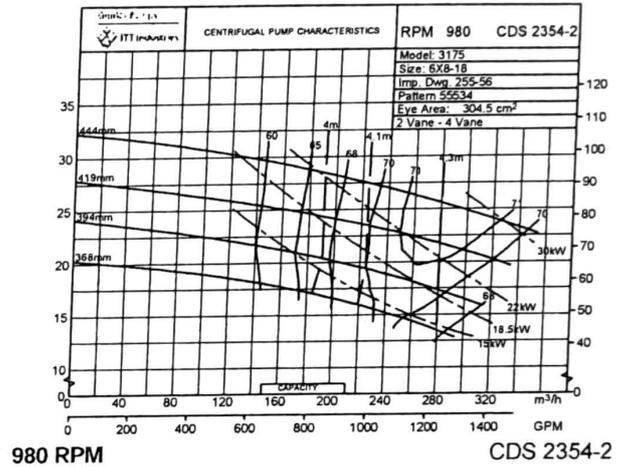
# 50 Hz Performance Curves Model 3175



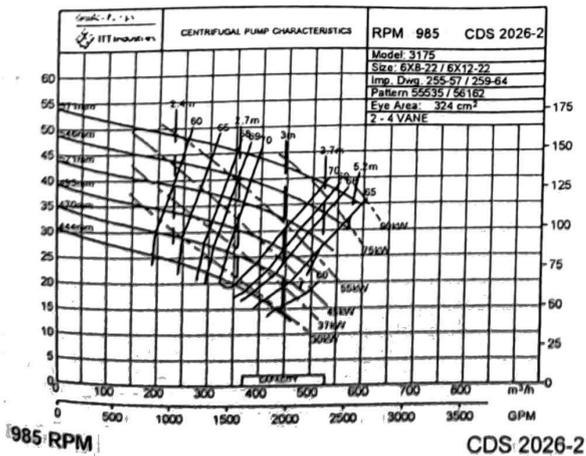
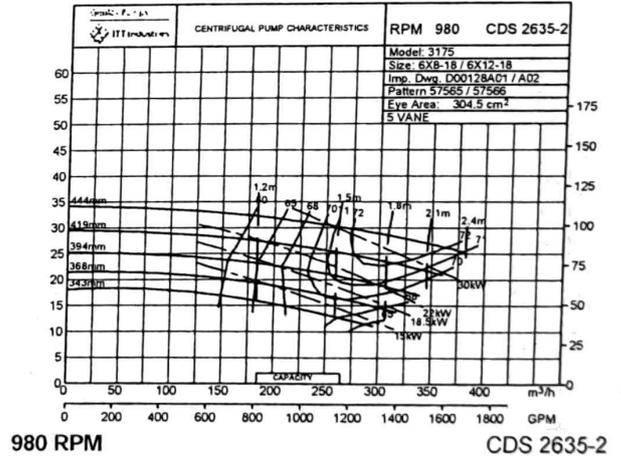
**S**  
6 x 8-14  
4 Vane



**M**  
6 x 8-18  
2/4 Vane

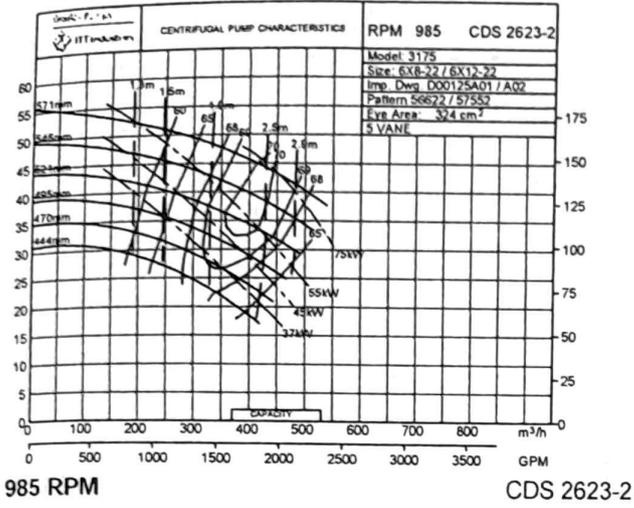


**M**  
6 x 8-18  
5 Vane

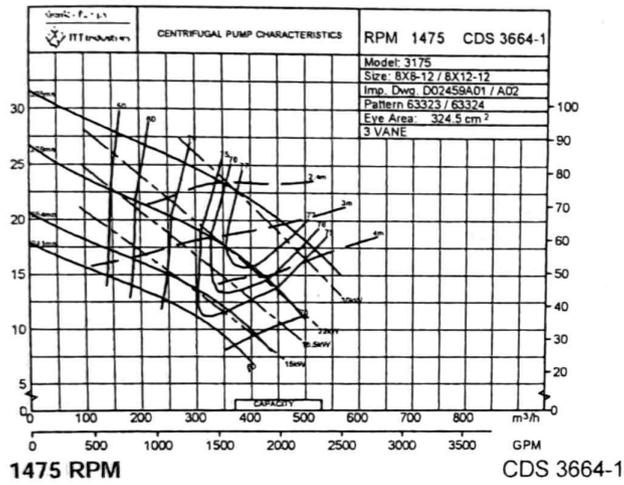
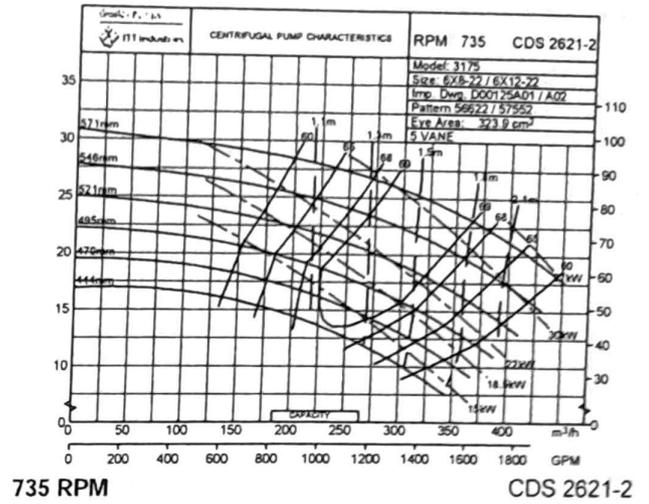


**M**  
6 x 8-22  
2/4 Vane

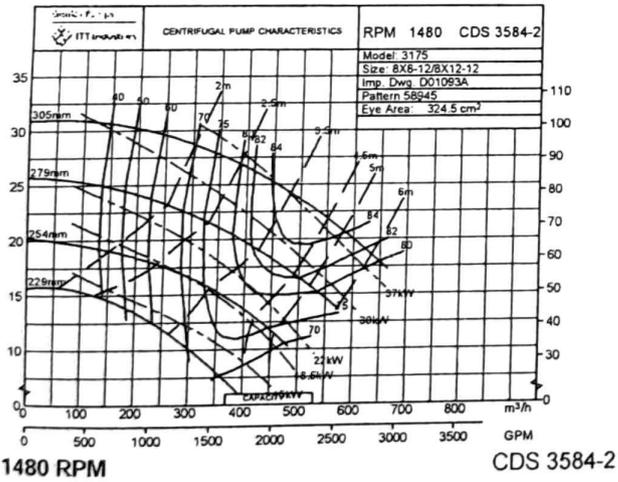
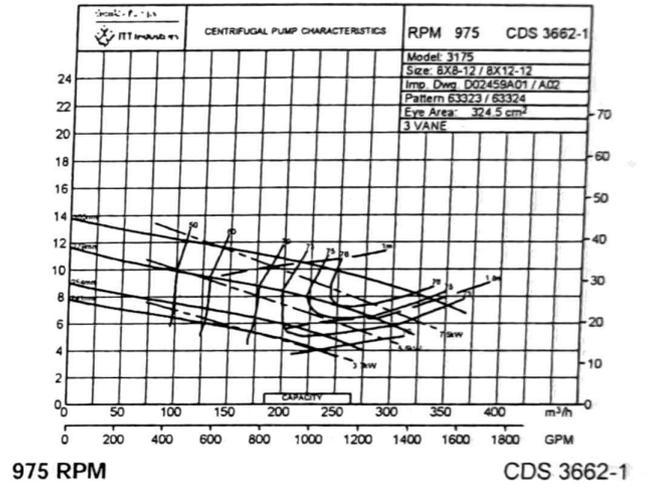
# Hz Performance Curves Model 3175



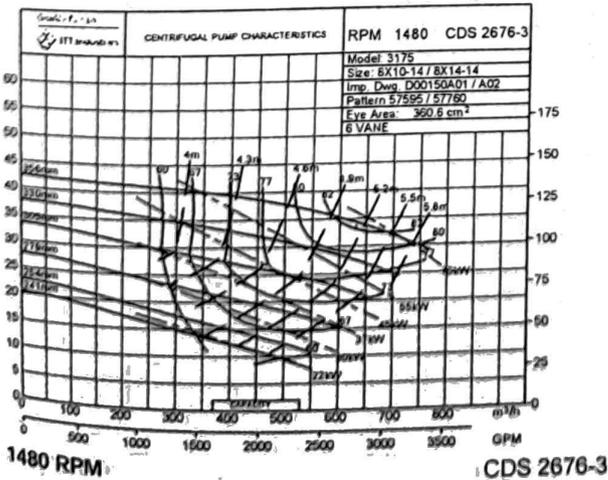
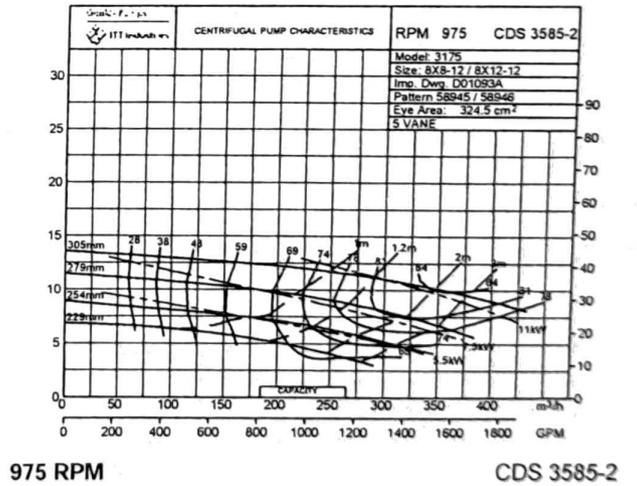
**M**  
6 x 8-22  
5 Vane



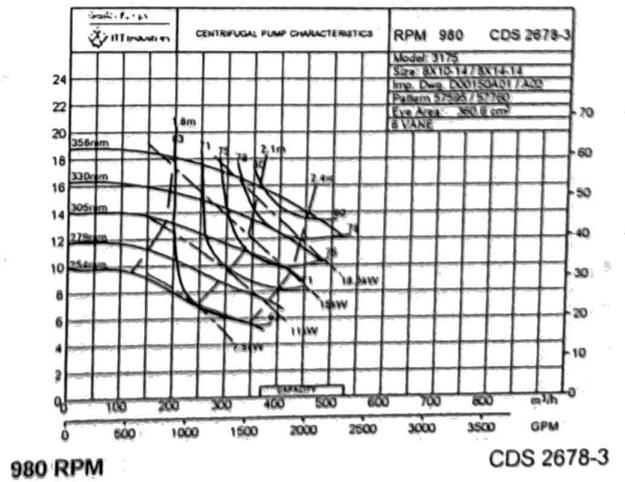
**S**  
8 x 8-12  
3 Vane



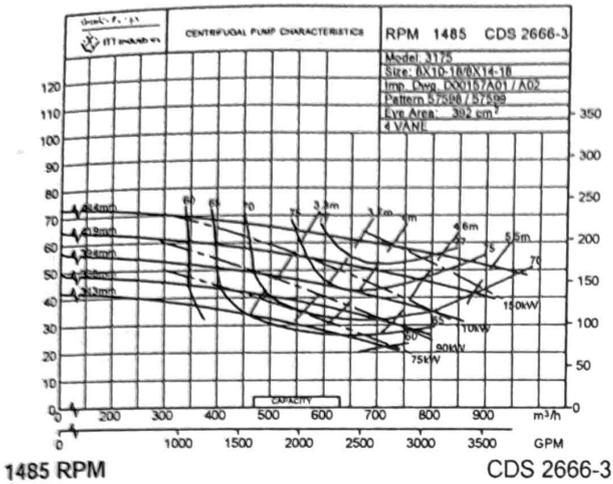
**S**  
8 x 8-12  
5 Vane



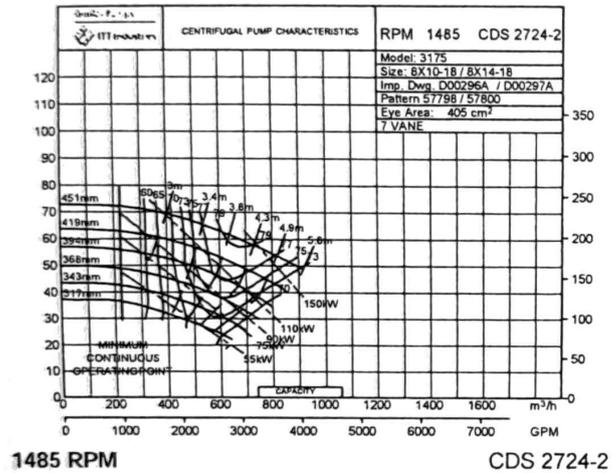
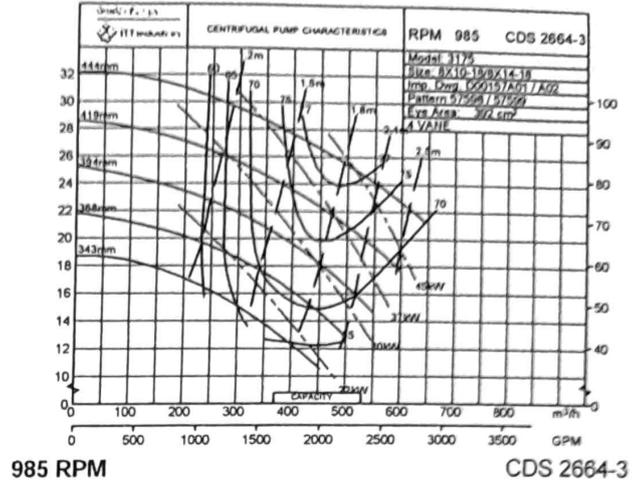
**M**  
8 x 10-14  
6 Vane



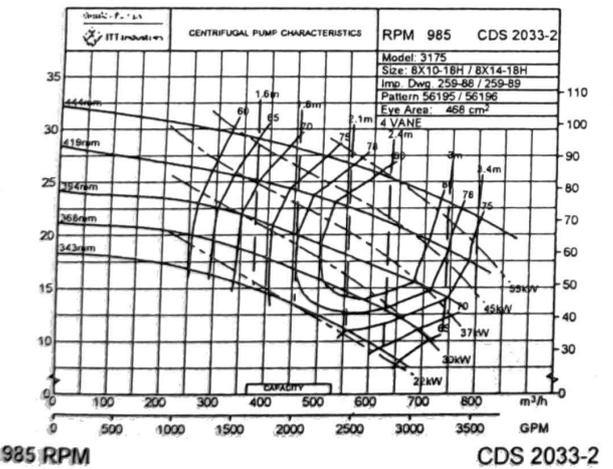
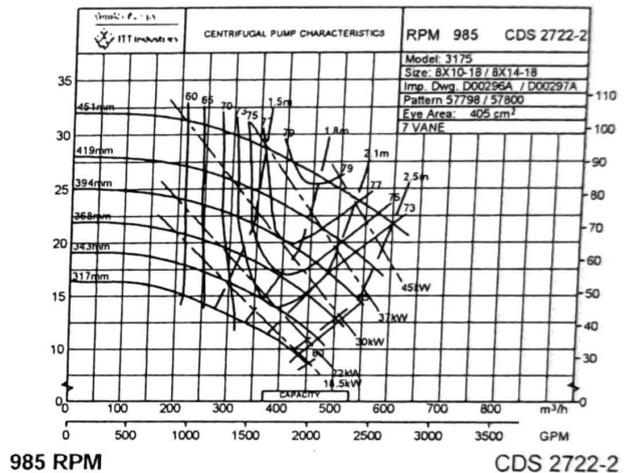
# 50 Hz Performance Curves Model 3175



**M**  
**8 x 10-18**  
**4 Vane**

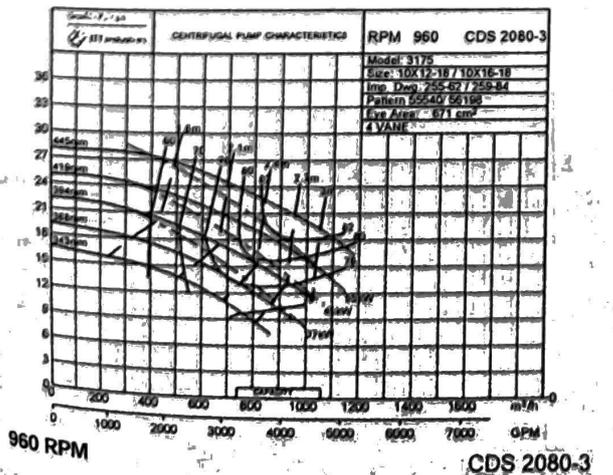
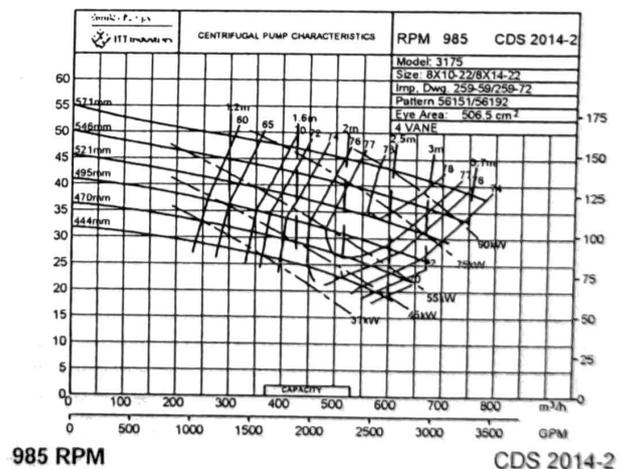


**M**  
**8 x 10-18**  
**7 Vane**



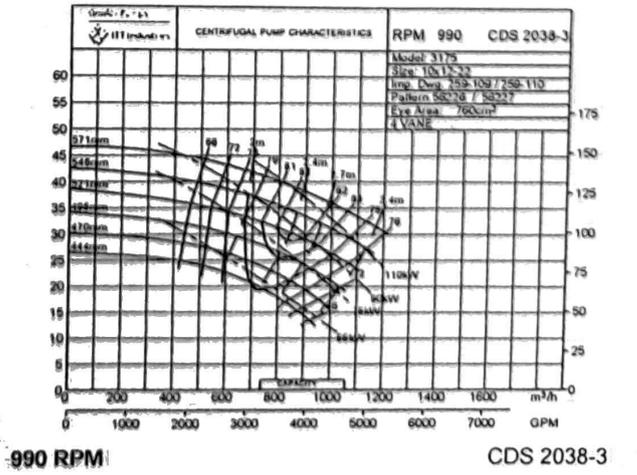
**M**  
**8 x 10-18H**  
**4 Vane**

**M**  
**8 x 10-22**  
**4 Vane**

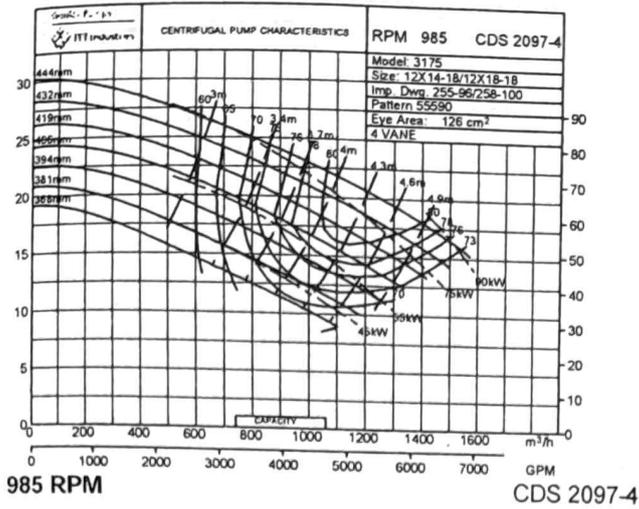


**M**  
**10 x 12-18**  
**4 Vane**

**L**  
**10 x 12-22**  
**4 Vane**

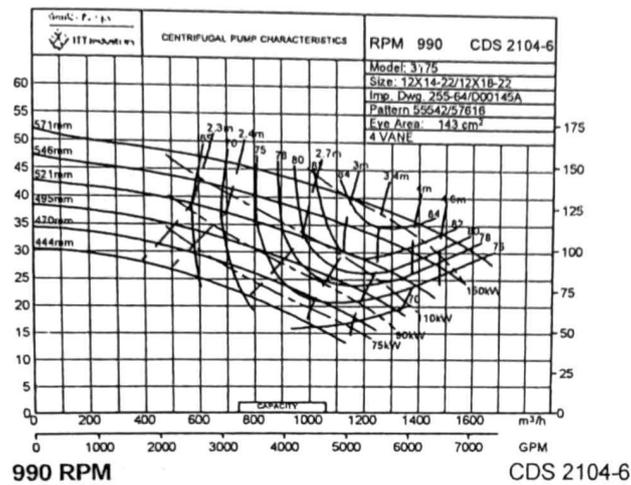
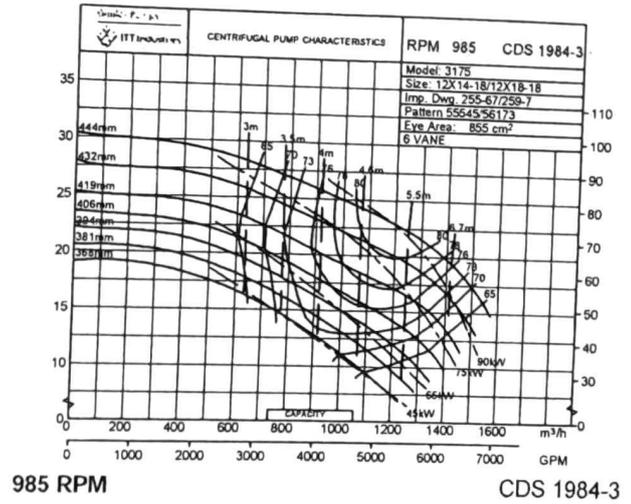


# Hz Performance Curves Model 3175



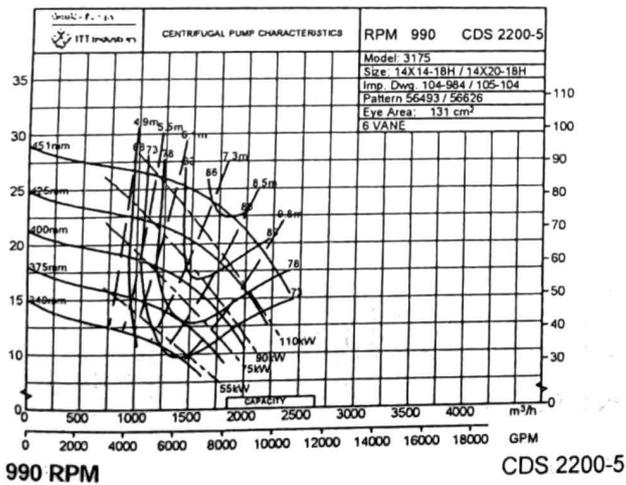
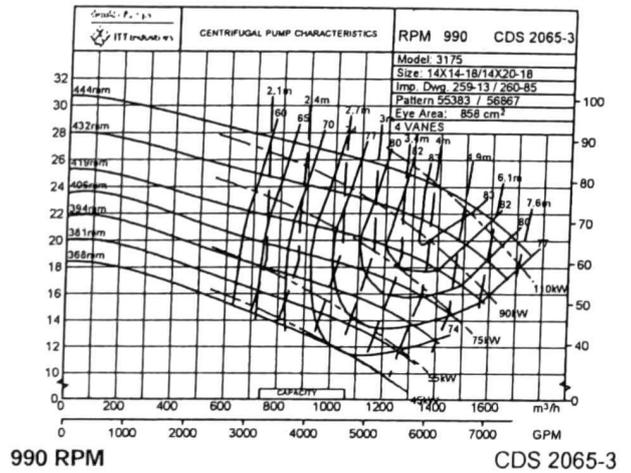
L  
12 x 14-18  
4 Vane ←

L  
12 x 14-18  
6 Vane →



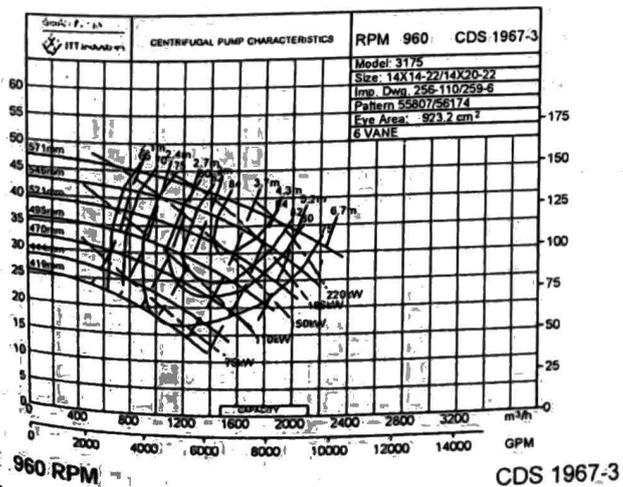
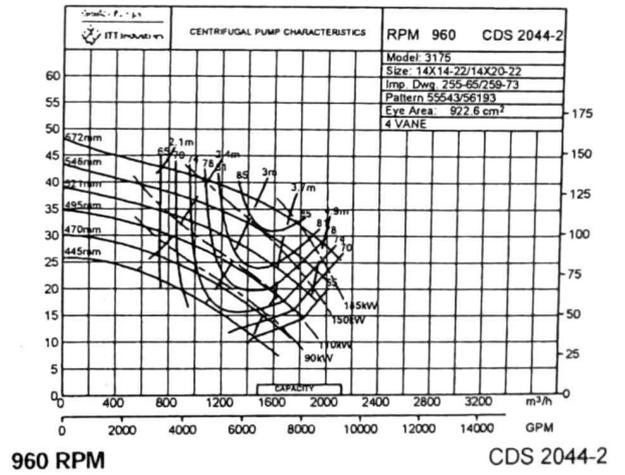
L  
12 x 14-22  
4 Vane ←

L  
14 x 14-18  
4 Vane →



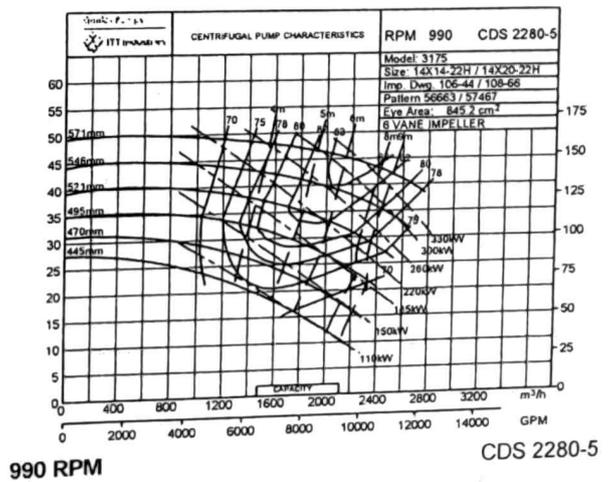
L  
14 x 14-18H  
6 Vane ←

L  
14 x 14-22  
4 Vane →

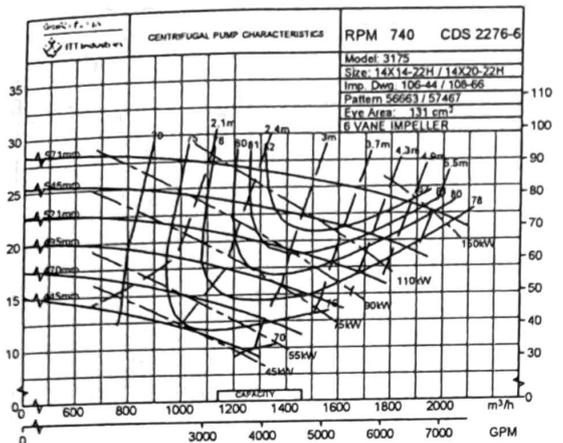


L  
14 x 14-22  
6 Vane ←

L  
14 x 14-22H  
6 Vane →



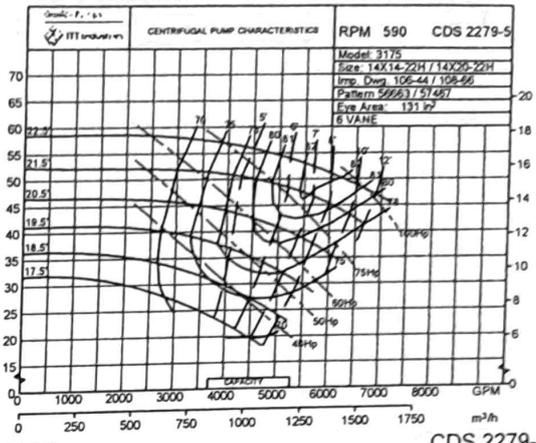
# 50 Hz Performance Curves Model 3175



L  
14 x 14-22H  
6 Vane

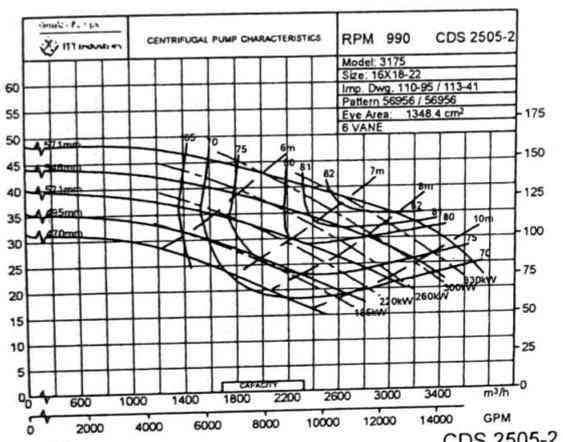
740 RPM

CDS 2276-6



590 RPM

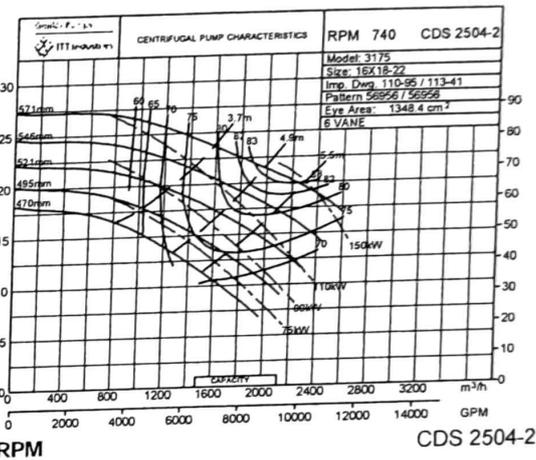
CDS 2279-5



990 RPM

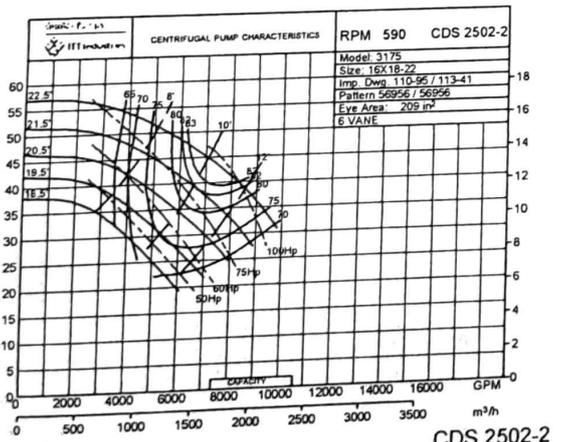
CDS 2505-2

L  
16 x 18-22  
6 Vane



740 RPM

CDS 2504-2

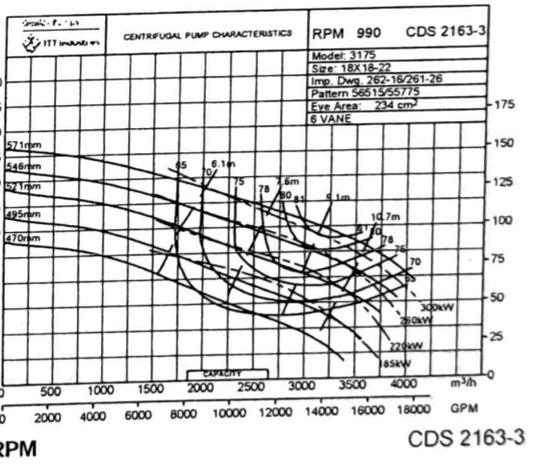


590 RPM

CDS 2502-2

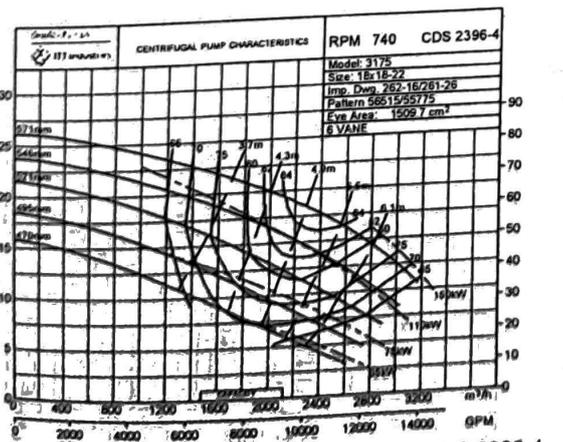
L  
16 x 18-22  
6 Vane

L  
18 x 18-22  
6 Vane



990 RPM

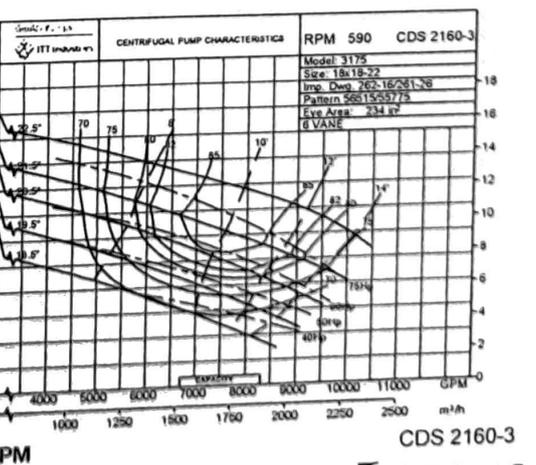
CDS 2163-3



740 RPM

CDS 2396-4

L  
18 x 18-22  
6 Vane

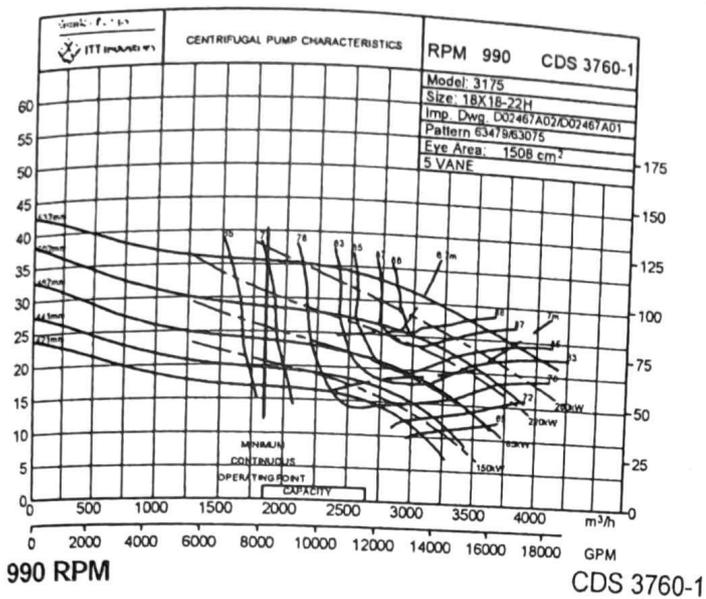


590 RPM

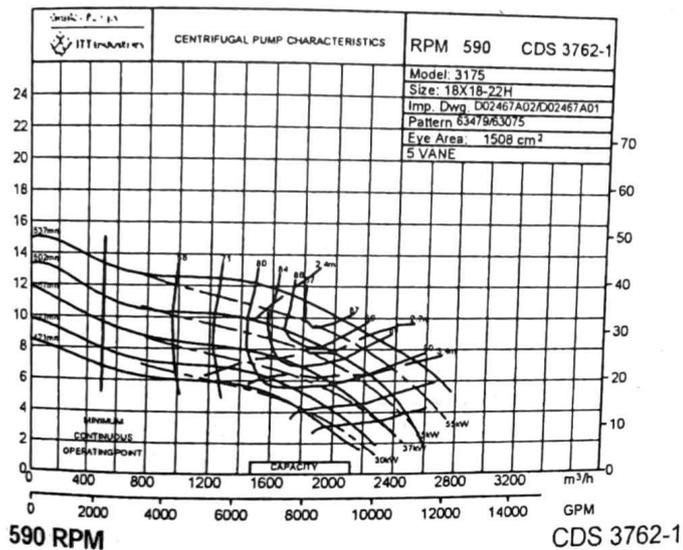
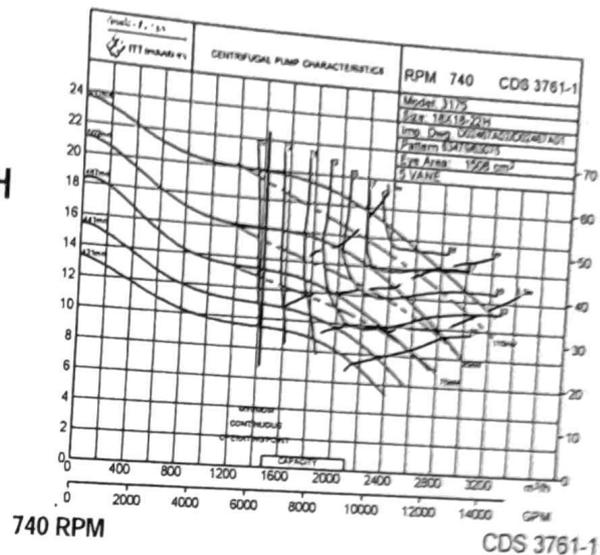
CDS 2160-3



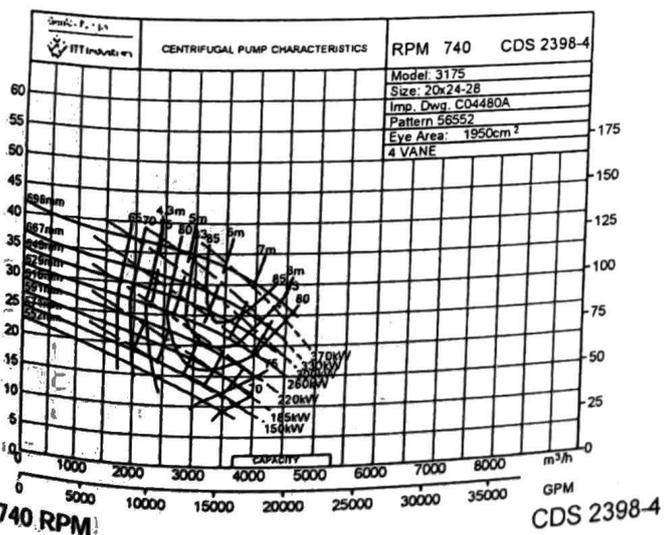
# 50 Hz Performance Curves Model 3175



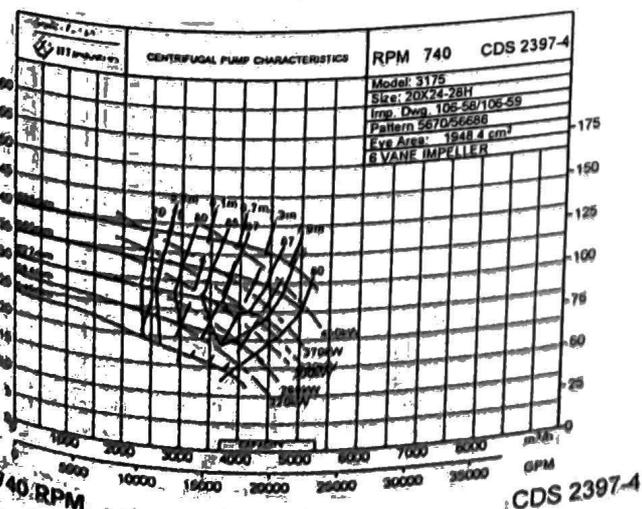
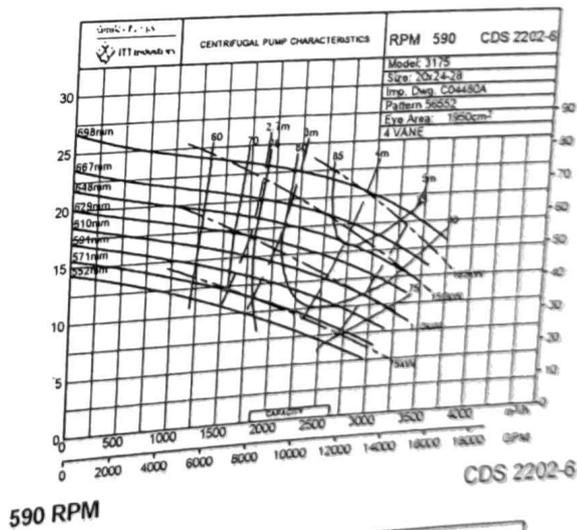
L  
18 x 18-22H  
5 Vane



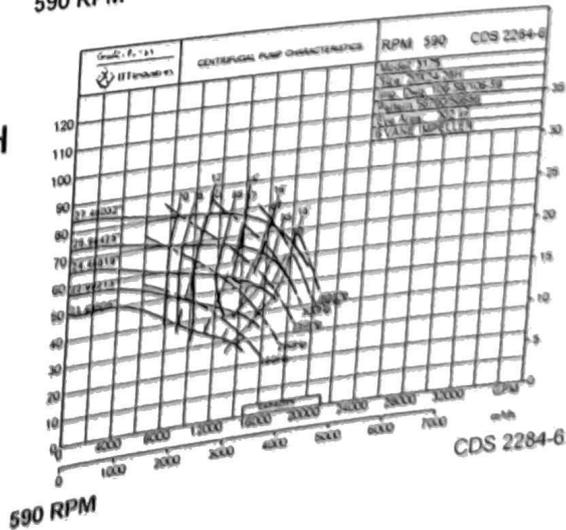
L  
18 x 18-22H  
5 Vane



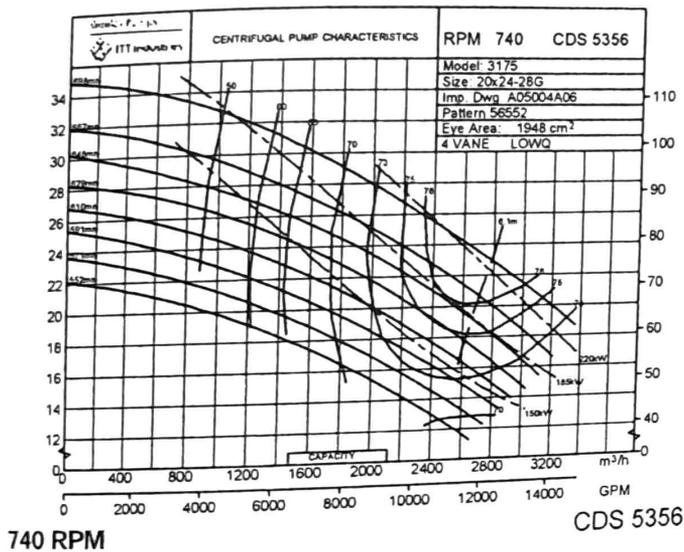
XL  
20 x 24-28  
4 Vane



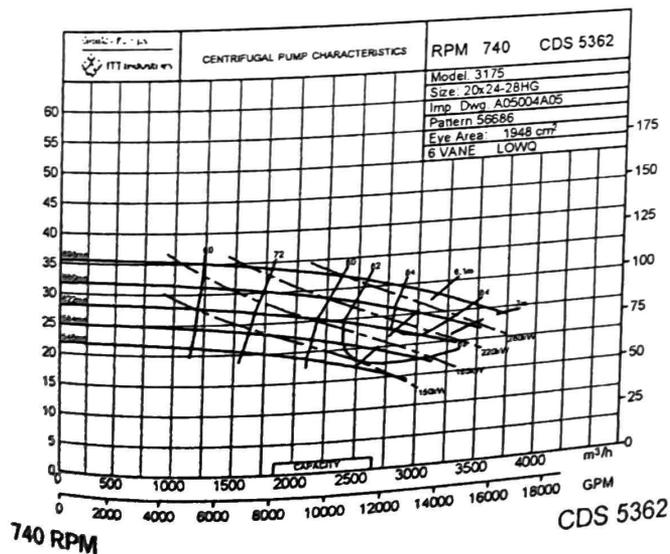
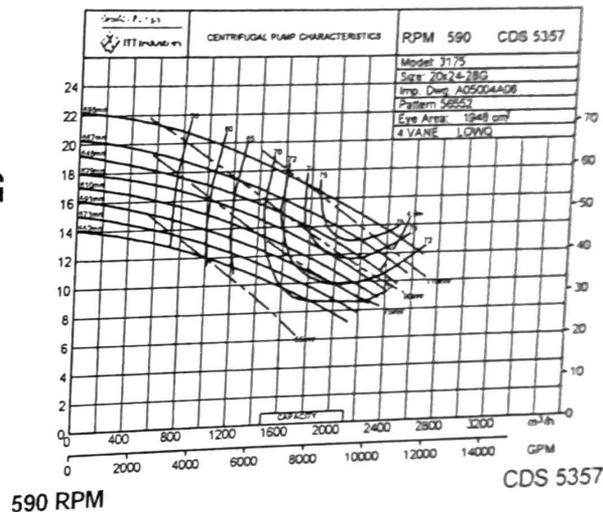
XL  
20 x 24-28H  
6 Vane



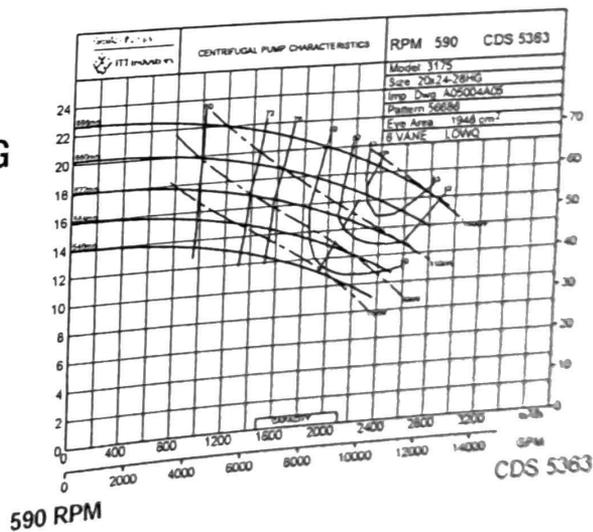
# 50 Hz Performance Curves Model 3175



**XL**  
20 x 24-28G  
4 Vane



**XL**  
20 x 24-28HG  
6 Vane



## APENDICE J

### PRODUCCIÓN MAS LIMPIA

La Producción Más Limpia (P.M.L.) la define la UNEP<sup>1</sup> como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada, aplicada a procesos, productos y *servicios*, con el fin de reducir los riesgos a la población y al medio ambiente, tomando como principio reducir al mínimo o eliminar los residuos y emisiones en la fuente y no tratarlos después de que se hayan generado<sup>2</sup>.

Sin embargo, debido a que la palabra *producción* se emplea en "producción más limpia", suele malinterpretarse la aplicación de este concepto, refiriéndose a una estrategia exclusiva para el sector industrial y/o manufacturero siendo válido su uso, en realidad, para otros sectores como el de *servicios de salud*, conocida como *Tecnología Ambientalmente Sana (T.A.S.)*, en el que los servicios no tienen como objeto la elaboración de un producto, sino satisfacer las necesidades básicas del usuario.

En este sentido, la producción más limpia en la *prestación de servicios de salud* está relacionada con los servicios que cada I.P.S. ofrece, donde se pueden incorporar estrategias ambientales para hacer un uso racional de los recursos y prevenir los impactos ambientales que cada procedimiento puede ocasionar.

La aplicación de estrategias de P.M.L. contribuye al mejoramiento continuo del servicio, porque obedece a un proceso sistemático y dinámico, donde P.M.L. no se aplica una solo vez. Por el contrario su aplicación es continua en cada fase del servicio logrando beneficios ambientales y económicos (ver *Figura 1*).

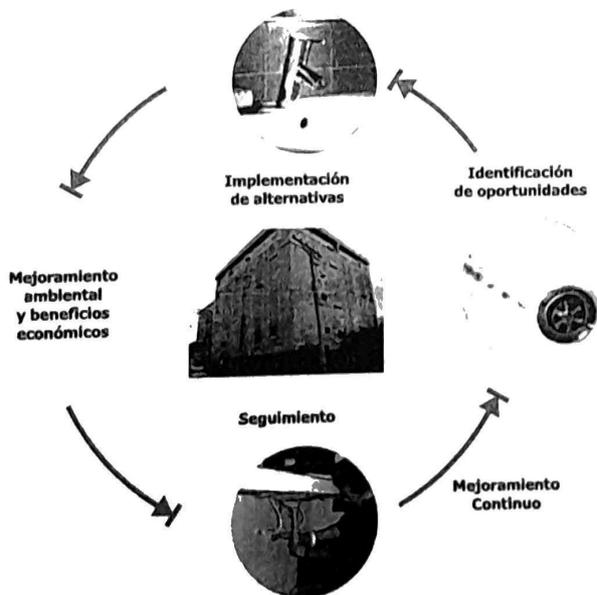


Figura 1

PML para  
el mejoramiento continuo

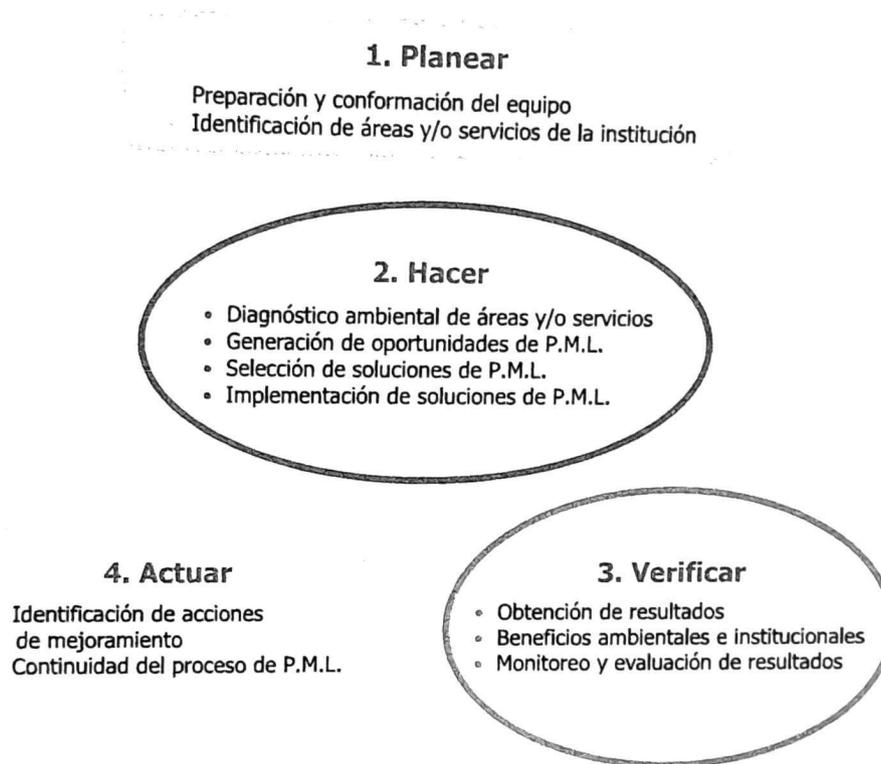
El uso eficiente de los recursos y la optimización de los servicios genera, como resultado, menores impactos ambientales y costos operativos más bajos.

Fuente: Carmenza Robayo A.

<sup>1</sup> Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.  
<sup>2</sup> IVAM - Environmental Research.

Como la P.M.L., T.A.S. es un proceso sistemático. Su implementación requiere de una serie de etapas organizacionales al interior de la institución, que deben desarrollarse de forma ordenada y con secuencia lógica, con acciones específicas que apunten al cumplimiento de las metas propuestas en cada I.P.S. (ver *Figura 2*).

Figura 2  
Secuencia para implementación de la P.M.L.- T.A.S.



Fuente: *Carmenza Robayo A.*

Las etapas para la implementación de P.M.L. corresponden a las etapas del ciclo P.H.V.A. (Planear, Hacer, Verificar, Actuar), fundamentales en sistemas de gestión de calidad, ambiente y salud ocupacional. Permiten aplicar, de manera transversal, la P.M.L. dentro de cualquier proceso de gestión, con ventajas o beneficios reales en cada sistema, relacionadas con el mejoramiento en la calidad de los servicios, prevención de la contaminación y condiciones de salud ocupacional, aspecto de gran importancia en instituciones prestadoras de servicios de salud.

### 1.1. Ventajas y beneficios de P.M.L. – T.A.S.

La aplicación de estrategias de P.M.L. genera ventajas y beneficios que no sólo se relacionan con el tema ambiental, sino que aportan mejoramiento a la institución y a la optimización de los servicios de salud (ver *Tabla 1*).



Ambientales	Institucionales
Reducción de la contaminación e impactos ambientales negativos	Aumento de la productividad y calidad en la prestación de servicios
Minimización de residuos y vertimientos, con ahorro en costos de tratamiento y disposición	Mejoramiento continuo de instalaciones, equipos y tecnologías
Contribución al cumplimiento de normatividad ambiental y anticipación a reglamentos futuros más estrictos	Mejora de la imagen de la institución, generando posicionamiento en el sector
Reducción de costos por uso eficiente de insumos, agua y energía	Ahorros en costos de materias primas, combustibles, agua y energía
Generación de conciencia ambiental en el sector salud	Estandarización de procedimientos operativos

Fuente: Carmenza Robayo A.

**Tabla 1.** Beneficios de P.M.L.- T.A.S.

La P.M.L. se aplica a todos los aspectos ambientales de las instituciones de salud, situación que permite utilizarla en programas como el de Ahorro y Uso Eficiente del Agua, gestión de residuos y demás compromisos encaminados a la prevención de la contaminación. Las estrategias de P.M.L. también pueden ser integradas al sistema de gestión ambiental en las instituciones.

## 1.2. Herramientas de P.M.L.

Para lograr el éxito en la implementación de estrategias de P.M.L. es necesario realizar, inicialmente, un diagnóstico ambiental para conocer la situación de la institución, donde se identifiquen puntos con oportunidades de mejoramiento en los procedimientos con que se realicen los diferentes servicios.

Lo anterior se consigue con la aplicación de herramientas de diagnóstico de Producción Más Limpia, utilizadas como instrumentos de ayuda para visualizar dificultades, situaciones, procedimientos, prácticas y minimización de consumos. A continuación se relacionan algunas herramientas prácticas aplicadas al sector salud:

- **Ecomapa:** Es una herramienta de identificación y localización de áreas o puntos críticos o de alto riesgo de contaminación, visualizadas mediante el uso de planos que contienen en general todas las instalaciones del establecimiento de salud, donde se demarcan los puntos de interés, indicando el componente ambiental intervenido (ver *Figura 3*).

El anterior ecomapa muestra, con la demarcación de una convención preestablecida, las áreas críticas desde el punto de vista de generación de residuos infecciosos. Igualmente se puede demarcar para consumos de agua, energía y generación de vertimientos, entre otros aspectos, obteniendo finalmente el sitio de mayor impacto para acciones de mejoramiento ambiental.

Figura 3  
Ecomapa de establecimiento hospitalario



Fuente: Carmenza Robayo A.

- **Matriz DOFA:** Corresponde a un consolidado que identifica *Debilidades* y *Fortalezas* de la institución, y *Oportunidades* y *Amenazas* en el servicio. Esta matriz se puede desarrollar por componente o aspecto ambiental, por áreas o servicios, o también a nivel general para toda la institución. La siguiente matriz se elaboró para aspectos generales sanitario-ambientales y locativos.

Debilidades	Oportunidades
Infraestructura de almacenamiento central de residuos infecciosos, en proceso de deterioro por acumulación excesiva y derrame de fluidos.	Diseñar una unidad de almacenamiento central de acuerdo a producción e intervalos de recolección.
Exceso de consumo de agua y energía.	Programar y realizar el mantenimiento preventivo de equipos.
Generación incontrolada de vertimientos.	Implementar programas de ahorro y uso eficiente de agua y energía.
Sin segregación en la fuente de residuos infecciosos, ni uso del código de colores para los contenedores o recipientes.	Implementar el código de colores e incentivar a la segregación en la fuente



Fortalezas	Amenazas
Buena imagen de la institución.	Almacenamiento de los residuos infecciosos.
Manejo óptimo de vectores.	Sanciones de la autoridad ambiental.
Remodelación programada de instalaciones	Falta de protección personal en los empleados de servicios generales.

Fuente. Carmenza Robayo A.

**Tabla 2.** Matriz DOFA aplicada a I.P.S.

Como se observa, esta herramienta puede contener diferentes componentes y elementos de la institución y da una idea general o específica del diagnóstico situacional de la entidad, en los aspectos que se desean analizar.

- **Matriz MED:** Responde a las iniciales de Materiales, Energía y Desechos. Integra todos los impactos ambientales de un servicio o un área determinada, involucrando procedimientos, actividades y materiales utilizados, y detalla las etapas del servicio, relacionándolas con insumos y desechos.

Esta diseñada para analizar el flujo de materias primas, energía, recursos y producción de desechos en un área específica; se centra en encontrar las actividades que generan residuos, así como la revisión de fugas, pérdidas de energía o prácticas de operación incorrectas.

Se ha adoptado el nombre de matriz, ya que liga dos conceptos primordiales y sus relaciones en un cuadro, donde las filas son las etapas del procedimiento y las columnas cada una de las características de la evaluación. En tal orden, tendremos las características del área según las etapas del procedimiento y los puntos críticos en cada tema de acción (agua, energía, residuos). La *Tabla 3* ilustra la organización de la matriz y resume el contenido de cada una de las características a evaluar.

Etapas	Materias	Energía	Desechos
Actividades secuenciales del servicio en un área determinada.	Es todo elemento o insumo que entra constantemente al proceso.	Tipo de energía necesaria para transformar la materia o ayudar a realizar el trabajo.	Es todo material residual proveniente de procedimientos, así como los vertimientos y emisiones.

Fuente: Carmenza Robayo A.

**Tabla 3.** Contenido General de Matriz MED

Los pasos para la realización de la matriz son:

1. Se detallan las etapas del procedimiento por cada área, en orden secuencial y se tienen en cuenta solamente aquellos procedimientos que estén directamente relacionados con el uso de recursos y la generación de residuos, ya sean líquidos, sólidos o emisiones.
2. Se deben listar las materias primas, insumos y recursos que utiliza el procedimiento, según la etapa del mismo en la que se utilicen, anotando cantidad o caudal diario. Las unidades deben ser presentadas en un solo sistema de expresión (internacional o inglés).
3. Para la columna de energía, se detalla el tipo de recurso energético que se utiliza para transformar o llevar a cabo las operaciones. Este paso es importante porque también cuantifica la cantidad de recurso utilizado.
4. Finalmente, se describen los desechos que se producen en todo el proceso, desde el manejo de materias primas hasta la transformación, los vertimientos, emisiones y residuos.

Para el análisis que se va a realizar, es necesario entender la manera como funciona el área. Esto se logra a través de la inspección de la zona en su totalidad y el manejo operacional que se lleva a cabo. Una vez entendido este aspecto, es fácil determinar las características más relevantes en cuanto a flujo de energía y residuos. La *Tabla 4* presenta un ejemplo de aplicación de matriz MED para el área de esterilización de un establecimiento hospitalario, en el que se involucran sus diferentes componentes.

Etapa	Materiales		Energía		Desechos	
	Esterilización					
Recepción	Instrumental de cirugía	600 unidades	Lumínica bombillos 39 watts	24 h/día	Accesorios dañados	4 uni/ día
	Indumentaria de trabajo desechable (tapabocas, guantes, gorro)	6 uni/sem			Indumentaria de trabajo desechable (tapabocas, guantes, gorro)	6 uni/ sem
Lavado	Instrumentos de cirugía	600 uni	Lumínica bombillos 39 watts	24 h/día	Vertimientos líquidos (agua, jabón, secreciones, desinfectante)	1399 litros/ día
	Agua	1395 litros				
	Indumentaria de trabajo desechable	12 uni/sem	Lavadora eléctrica	7 h/día	Indumentaria de trabajo desechable	12 uni/ sem
	Detergente enzimático: cidezyme	5 litro/sem				

Fuente: I.P.S. Nivel III de Bogotá.

**Tabla 4.** Ejemplo de Matriz MED para área de esterilización.



IMPORTANCIA DE LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN IPS

Para registrar la información solicitada por la herramienta se requiere del establecimiento de excelentes registros y mediciones, y de una coordinación permanente entre diferentes dependencias, con énfasis en las que suministran los insumos.

- **Costos de ineficiencia:** Es una herramienta que permite registrar los costos derivados de la no calidad del procedimiento, no-aprovechamiento de recursos, pérdida de materias primas e insumos, tratamiento de residuos y generación excesiva de residuos. Igualmente, para su diligenciamiento se requiere de excelentes registros y determinación de costos de operación.

A través de la identificación de los aspectos relacionados con el manejo ambiental y los costos de oportunidad del no aprovechamiento de los recursos, se contabilizan los costos de ineficiencia. La *Tabla 5* resume estos aspectos.

Origen de la Ineficiencia	Aspecto
Manejo ambiental	<i>Insumos:</i> Gasto de insumos no utilizados en el procedimiento o desperdiciados.
	<i>Hora máquina:</i> Gasto de hora/máquina en transformación de materiales que finalmente no son utilizados en el procedimiento. Puede considerar también costos adicionales requeridos para calibración y reprogramación de máquinas.
	<i>Costos administrativos:</i> Costos administrativos (planeación, supervisión, etc.) relacionados con los materiales desperdiciados y que no generan valor.
	Gasto en el <i>manejo de residuos</i> (caracterización, recolección, almacenamiento y disposición): Los gastos relacionados con la mano de obra (operativa y administrativa) y la infraestructura relacionada con el manejo de los desperdicios.
	Pérdidas asociadas al <i>daño en imagen y competitividad</i> de la I.P.S.: Ocasionadas por la imagen desfavorable de la institución ante sus pacientes debida a deficiencias en el desempeño ambiental (mal manejo o generación excesiva de desperdicios).
	Costos relacionados con el <i>riesgo de contaminación:</i> La probabilidad de pagar multas o compensaciones por la contaminación causada por la I.P.S.
Costos de oportunidad	<i>Ingresos potenciales por aprovechamiento de materiales desperdiciados:</i> El mismo material que representa un gasto en insumos tiene un valor potencial en el caso de ser aprovechado de manera eficiente.
	<i>Pérdida (costos de oportunidad) por no utilización de la capacidad instalada:</i> (hora de máquina y mano de obra) produjo los desperdicios (productos fuera de especificación).

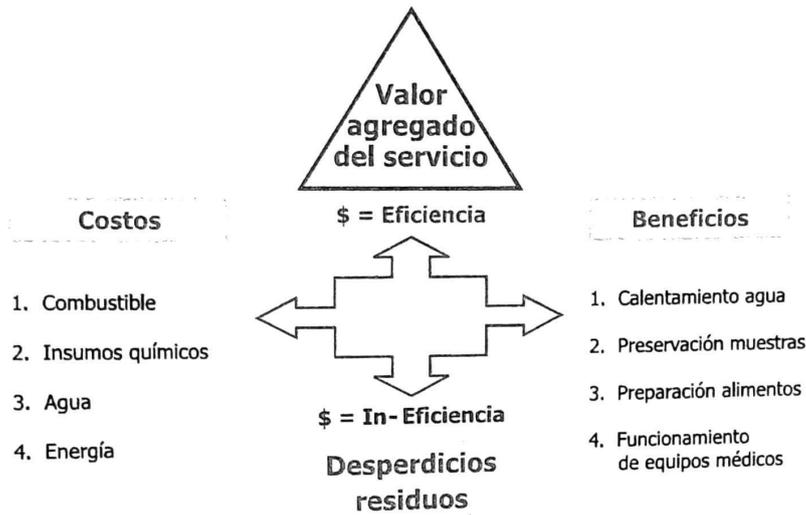
Fuente: Van Hoof, Bart y Saer, Alex. *Organización para el Desempeño Empresarial Sostenible (ODES)*.

**Tabla 5.** Aspectos relacionados con los costos de ineficiencia

La importancia del cálculo de los costos de ineficiencia se basa en la identificación y asignación de valores al manejo ineficiente dentro de la I.P.S. Esta asignación facilita la transparencia de la estructura de costos y sirve como base para la toma de decisiones sobre el manejo de los mismos.

Adicionalmente, el cálculo de los costos de ineficiencia proporciona la motivación y justificación para implementar alternativas operativas a los costos ambientales y las pérdidas involucradas en las actividades que no generan valor. La *Figura 4* presenta diferentes variables que intervienen en un procedimiento para determinar los costos de ineficiencia.

Figura 4  
Esquema de costos de ineficiencia



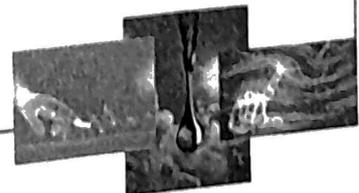
Fuente: Carmenza Robayo. Modificado de Van Hoof, Bart y Saer, Alex. ODES.

La Tabla 6 muestra un ejemplo de aplicación para un establecimiento de salud en sus áreas de cafetería (donde se expenden alimentos y bebidas), hospitalización y zonas comunes.

Item	Cantidad	Unidad	Costo por Operación	Unidad
Cocina				
Energía	5.000	kwh / mes	\$1.050.000	kwh / mes
Agua	90	m <sup>3</sup> / mes	\$359.280	m <sup>3</sup> / mes
Materia prima	850	kwh / mes	\$28.000.000	m <sup>3</sup> / mes
Residuos	1.500	kg / mes	\$472.500	kg / mes
Hospitalización				
Energía	25.000	kwh / mes	\$5.250.000	kwh / mes
Agua	750	m <sup>3</sup> / mes	\$2.994.000	m <sup>3</sup> / mes
Residuos	1.500	kg / mes	\$675.000	kg / mes
Áreas comunes				
Energía	15.000	kwh / mes	\$3.150.000	kwh / mes
Agua	360	m <sup>3</sup> / mes	\$1.437.000	m <sup>3</sup> / mes
Residuos	150	kg / mes	\$67.500	kg / mes

Fuente: Carmenza Robayo A.

Tabla 6. Identificación de costos de ineficiencia

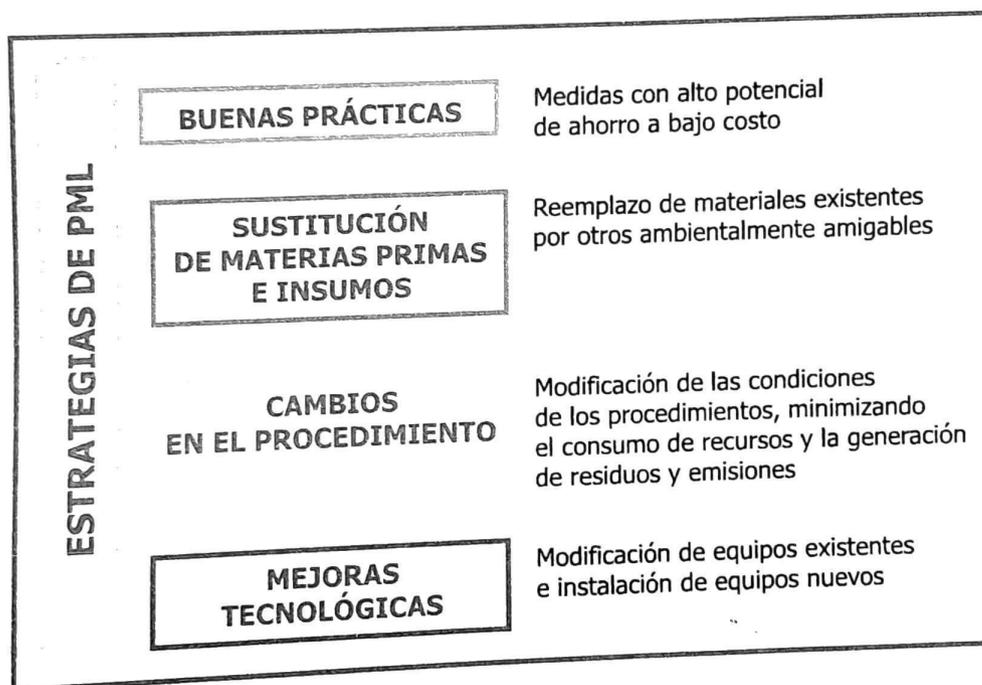


### 1.3. Estrategias de P.M.L.

Las estrategias de P.M.L. para el sector salud están enfocadas, principalmente, a la prevención de la contaminación, reducirla o minimizarla desde su origen, y a disminuir la generación tanto de residuos comunes como de infecciosos y químicos, materiales, insumos, emisiones o vertimientos dentro de la institución. Se fundamenta en buenas prácticas durante la prestación de servicios o desarrollo de los procedimientos, sustitución de algunos insumos con características peligrosas, cambios en los procedimientos y mejoramiento tecnológico.

La *Figura 5* contiene en forma concisa el criterio que debe aplicarse cuando se realiza la selección de una estrategia de P.M.L.-T.A.S., para realizar su clasificación. En lo posible se recomienda la gradualidad contenida en la figura para minimizar costos en su implementación; igualmente se consignan algunos ejemplos que pueden servir como insumo para su aplicación.

Figura 5  
Clasificación de Estrategias de P.M.L.



Fuente: Carmenza Robayo A.

- **Buenas prácticas operativas:** Son medidas orientadas a prevenir pérdidas de insumos o recursos, minimización de residuos, ahorro de agua, energía y mejoramiento de la institución. Estas acciones voluntarias se pueden aplicar con el objetivo de Racionalizar, Reducir, Reutilizar y/o Reciclar, y mejorar las condiciones de trabajo, salud y seguridad ocupacional en la I.P.S.
- **Sustitución de materias primas e insumos:** Es el cambio de sustancias contaminantes utilizadas en las actividades de la institución, por otras menos peligrosas que den lugar a reducción del

volumen y grado de peligrosidad. Permite mejorar las condiciones de manipulación y almacenamiento de insumos, niveles de higiene, seguridad industrial y del entorno de las instalaciones. Como ejemplo de estrategias de sustitución de materias primas e insumos para I.P.S. se tienen los secuestrantes, detergentes y desengrasantes en el servicio de lavandería.

- **Cambios en procedimientos:** Establece mecanismos en los que la prestación del servicio se puede adelantar de manera eficiente previniendo la generación de residuos (sólidos y líquidos), sin disminuir la calidad del servicio.
- **Mejoras tecnológicas:** Consiste en la sustitución de maquinaria y equipos de tecnología que presentan baja eficiencia ambiental, baja productividad o eficiencia, por equipos y maquinaria con tecnología de punta que propendan la reducción del consumo de insumos, materia prima y energía, minimicen la generación de cargas contaminantes y mejoren las eficiencias. Un ejemplo de esta estrategia es el uso de termómetros digitales en sustitución de los de bulbo de mercurio.

Generalmente la implementación de la producción más limpia comienza con la adopción de buenas prácticas, que corresponde a la alternativa menos compleja, y progresivamente se complementa con las demás según su complejidad.

En la mayoría de casos se puede disminuir cerca de un 50% de la generación de residuos mediante la implementación de buenas prácticas de manejo y sólo realizando pequeños cambios operacionales<sup>3</sup>.

Identificada la situación actual de los componentes ambientales de cada I.P.S. y formuladas las alternativas de P.M.L. que se implementará según el caso, es importante que cada institución realice una matriz consolidada en la que se consigne el tipo de estrategia a la que responde cada alternativa y, a su vez, su implicación para la I.P.S. (ver *Tabla 7*).

Para el desarrollo de cada una de las alternativas formuladas en la matriz consolidada, existen diferentes herramientas de implementación, como las fichas temáticas y el plan de acción, que describen las actividades necesarias para que la implementación de la alternativa sea exitosa. La *Figura 6* contiene un ejemplo de ficha temática para una alternativa de la matriz consolidada.

Foto 1. Inspecciones periódicas para detección de fugas

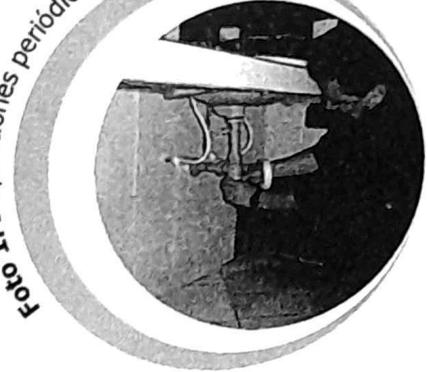
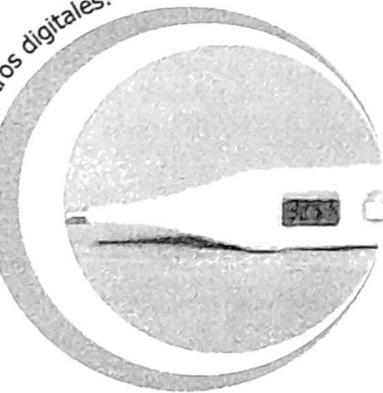


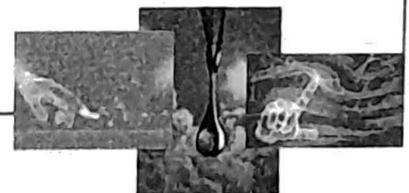
Foto 2. Blanqueo sin cloro



Foto 3. Termómetros digitales.



<sup>3</sup> Centro Nacional de Producción Más Limpia. *Manual de introducción a la producción más limpia en la industria.*



Situación actual	Alternativa	Tipo de estrategia	Implicación		
			Técnica	Económica	Ambiental
Residuos					
Desactivación deficiente de residuos	Utilizar Peróxido de Hidrogeno	Sustitución de materias primas e insumos	Optimizar desactivación a menor costo	Costos permanentes en compra del insumo	Menor riesgo ambiental
Residuos reciclables llevados a relleno sanitario	Reciclaje de residuos convencionales	Buenas prácticas	Reducción de residuos a disposición final	Ingresos por comercialización de residuos	Aprovechamiento de residuos
Agua					
Líquidos reveladores vertidos al alcantarillado	Recolección y devolución al proveedor para reciclaje	Buena práctica	Maximizar uso de residuos	Reducción en costos por compra de líquido revelador	Reducción de impacto en el recurso agua
Excesivo consumo	Instalar válvulas reguladoras en duchas y lavamanos	Mejoramiento tecnológico	Reducción de consumo	Disminución en el pago de las tarifas	Ahorro en uso de recursos y minimización de efluentes
Energía					
Alto consumo	Instalación de sensores y bombillos ahorradores	Mejoramiento tecnológico	Reducción de consumo	Disminución en el pago de las tarifas	Ahorro en el uso del recurso
Utilización poco eficiente de equipos	Programar uso de equipos según capacidad de carga	Cambio en procedimiento	Ajustar horarios para realizar labores	Disminución en el pago de las tarifas	Ahorro en el uso del recurso
Capacitación					
Actitud negativa del personal en prácticas ambientales	Campañas de concientización y entrega de estímulos	Buenas prácticas operacionales	Análisis de competencias del personal	Incremento en productividad y competitividad	Mejoramiento en las condiciones ambientales

Fuente: *Carmenza Robayo A.*

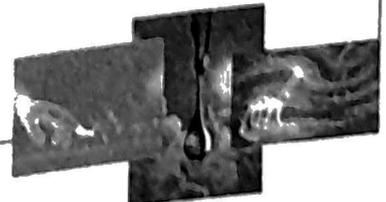
**Tabla 7.** Ejemplo de matriz consolidada de P.M.L.

Figura 6  
Ficha temática

HOSPITAL NIVEL II PROGRAMA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA			FICHA TEMÁTICA - 01	
Generación	Segregación	DESACTIVACIÓN	Movimiento interno	Almacenamiento
<b>SEPARACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS</b>				
<b>OBJETIVO:</b> Disposición ambientalmente racional de residuos mercuriales generados en el área de odontología.			<b>CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN EN SEMANAS</b> 1 2 3 4 5 6	
<b>APLICACIÓN:</b> Consultorios de odontología.				
<b>ACTIVIDADES A REALIZAR:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Plantear indicadores de generación de los residuos mercuriales generados en los consultorios de odontología</li> <li>2. Registrar la cantidad de residuos mercuriales entregados al proveedor.</li> <li>3. Diseñar un programa de bioseguridad para el manejo interno de los residuos mercuriales.</li> <li>4. Capacitar tanto al odontólogo como al auxiliar en el uso eficiente de los productos mercuriales utilizados en los procedimientos realizados, para evitar una mayor generación de los mismos.</li> </ol>				
<b>PRETRATAMIENTO</b>	<b>Inmersión de residuos mercuriales en glicerina</b>			
				
	<b>RESPONSABLE</b> Coordinador de Odontología			
<b>TIPO DE MEDIDA</b>	<b>Buenas prácticas</b>			

IMPORTANCIA DE LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN IPS

Fuente: Carmenza Robayo A.



## **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.

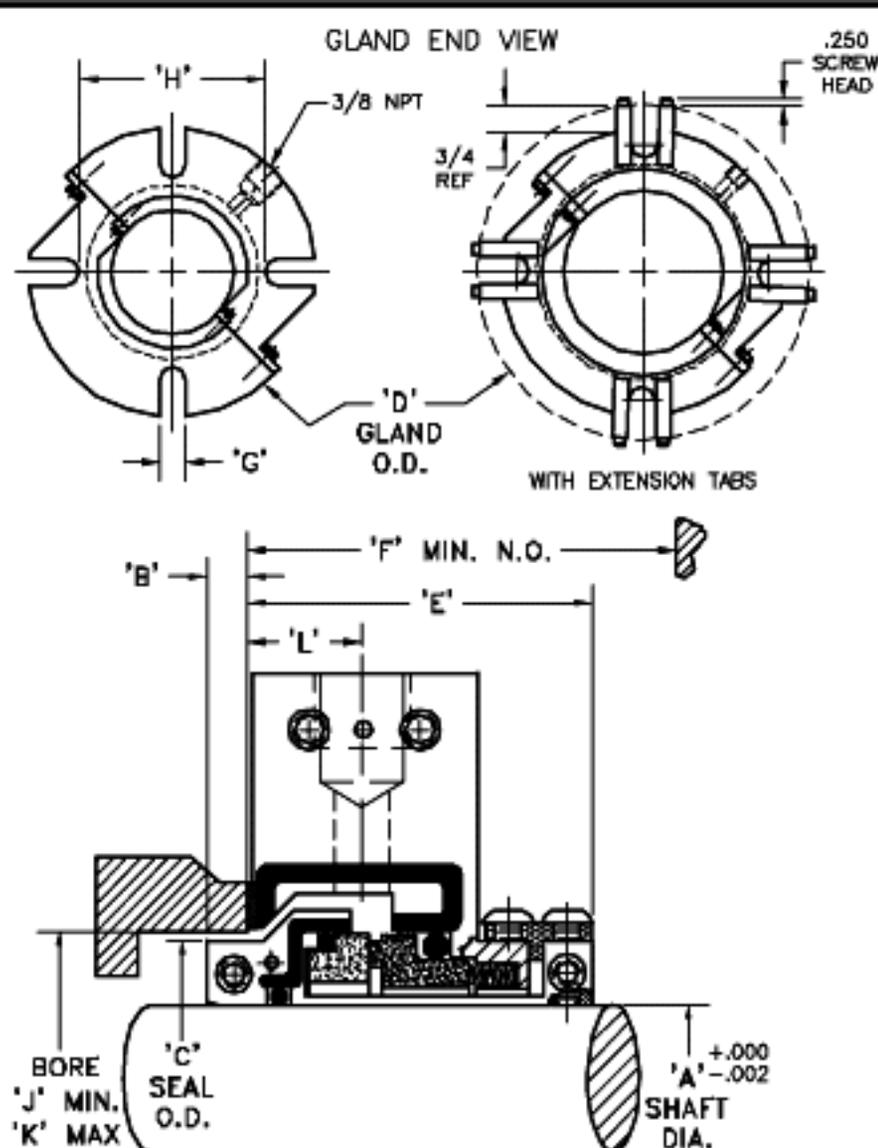
15. Luis Améndola, Modelos Mixtos de Confiabilidad, Valencia, España - 2002.
16. National Aeronautics and Space Administration NASA, Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment, USA – 2000.
17. Pedro Fernández Díez, Bombas Centrífugas y Volumétricas, libros.redsauce.net.
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.



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	2.000	.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	2.000	.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	1269	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