

# **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	MP Real	Producción Real	Índice Conversión		VARIACION
	[TM]	[TM]		[TM]	Estándar	
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.

<b>CONSUMO DE AGUA EN EL SELLADO DE BOMBAS</b>
--

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

<b>TOTAL (GAL)</b>	<b>12,632,004.0</b>	<b>35,203,907.2</b>
--------------------	---------------------	---------------------

**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**

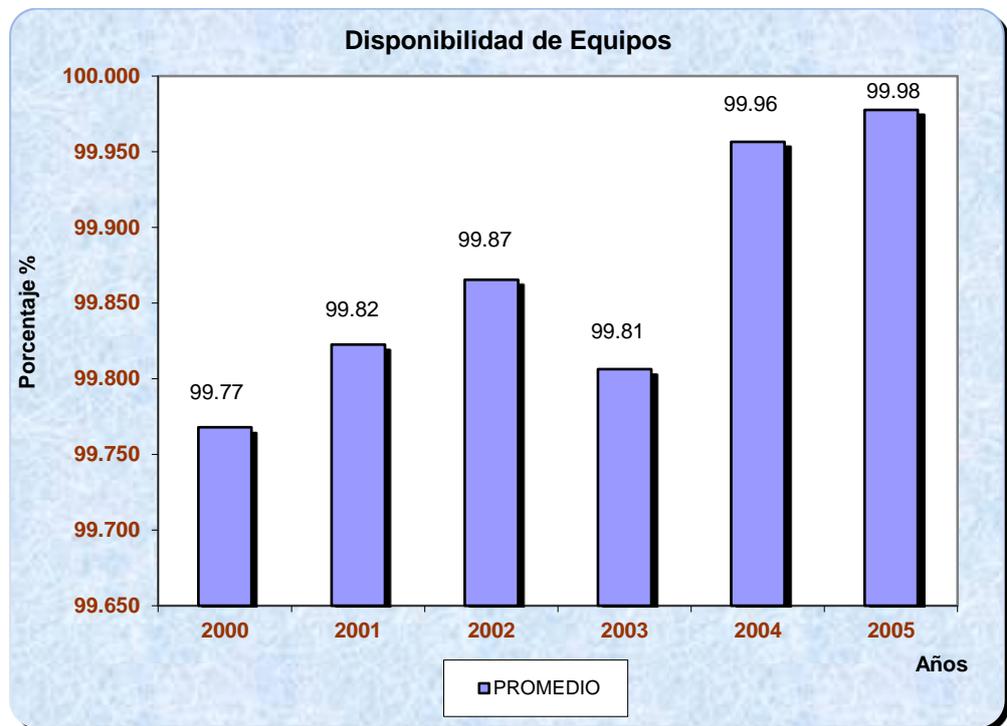
CÓDIGO EQUIPO	NOMBRE DEL EQUIPO	INDICE DE DISPONIBILIDAD ANUAL (%)		
		2000	2001	2002
81B 13	Bomba princ.del Hidropulper (P-02)	99.85	99.55	99.95
83 B 11	Bomba del Bel Purge (P-01)	99.84	99.89	99.95
832 B 10	Bomba Primaria Depuración Bagazo	99.98	99.87	99.96
832 B 80	Bomba limpiadores terciarios (P-13)	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:

$$TMPF = \frac{\sum HROP}{\sum NTMC}$$

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 selectifer	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.

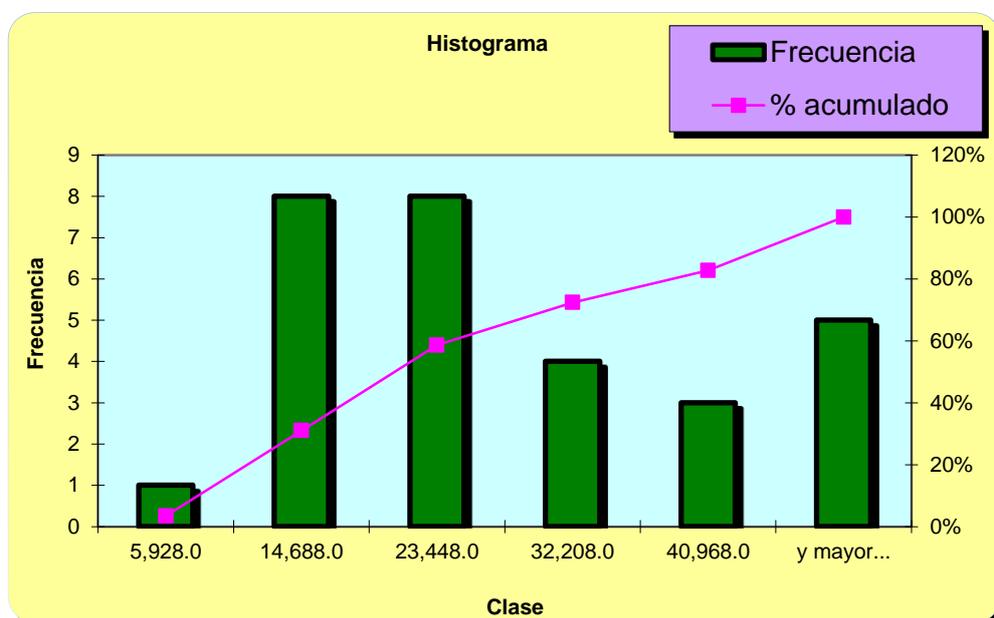
N°	EQUIPOS M1 y M2	TMPF [Hrs]
1	Bomba del Hidropulper # 2	33,864.0
2	Bomba del Hidropulper #1 Kraft	16,824.0
3	Bomba principal dump chest *	13,872.0
4	Bomba # 1 agua blanca norte (nueva)	36,552.0
5	Bomba # 2 agua blanca sur (nueva)	13,272.0
6	Bomba al selectifier	44,328.0
7	Bomba limpiador primario uniflow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

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

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

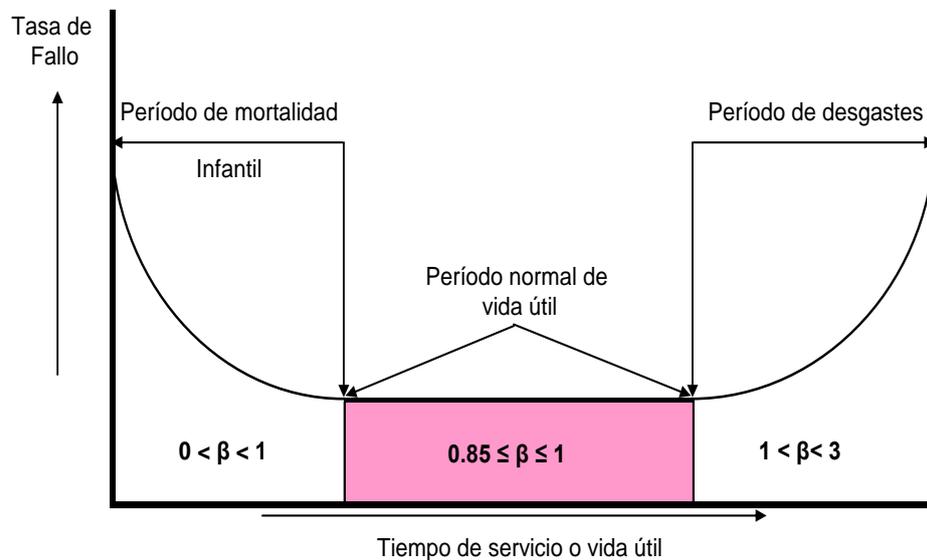
t: es el intervalo de tiempo en el cual se desea conocer la confiabilidad del equipo, partiendo de un período = 0.

$\eta$ : 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

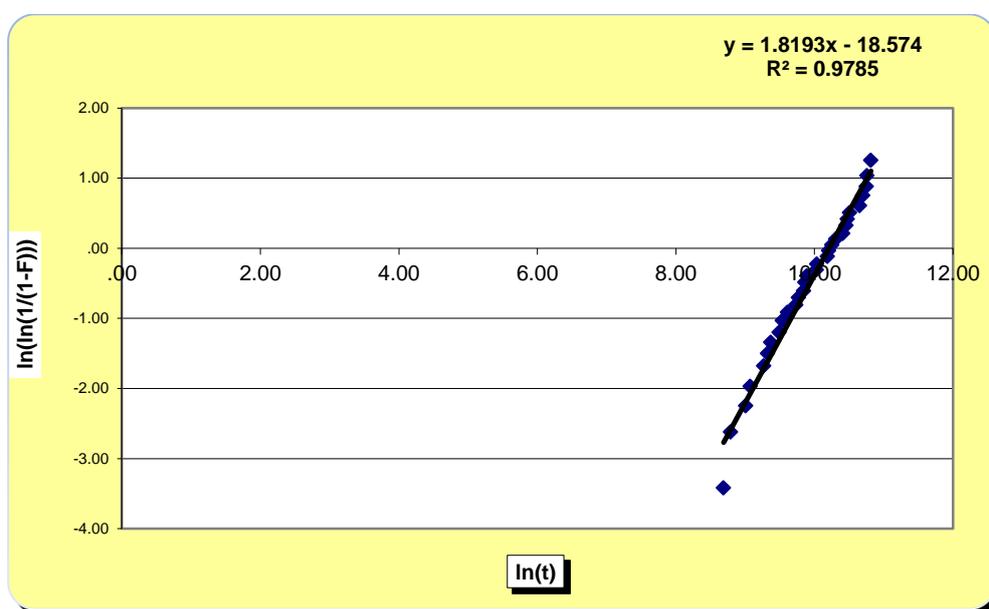
Por lo tanto tomando estos aspectos teóricos, en este proyecto unificando datos (molino 1 y molino 2) los resultados de confiabilidad se los calcula con el siguiente procedimiento.

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]	$F_i=i/(n+1)$	$F_i$ (%)	$\ln(t)$ x	$\ln(\ln(1/(1-F_i)))$ 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:

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

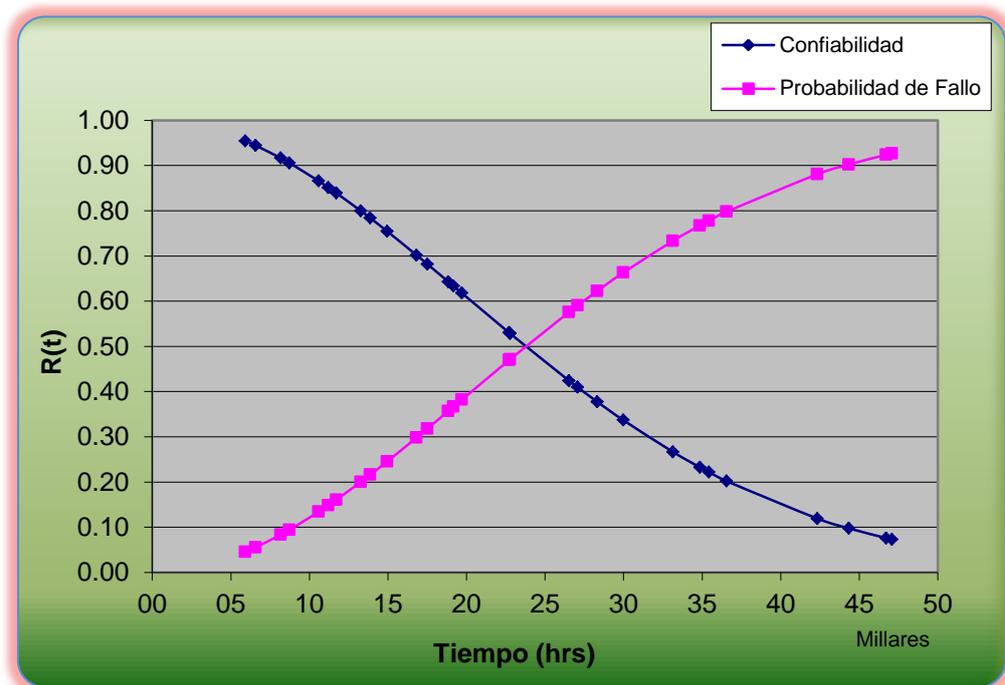
ec. 3.5.

**Dónde:**

$\Gamma$ : es la función gamma

<b>N°</b>	<b>t [Hrs]</b>	<b>R(t) <math>\exp(-(t/\eta)^\beta)</math></b>	<b>F(t) 1-R(t)</b>
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.

$$\text{TMPF} = 27,157.84 \Gamma(1+1/1.82)$$

= 27,157.84  $\Gamma(1.6)$ ; De tabla (apéndice A) se obtiene valor de gamma

$$= 27,157.84 (0.8966)$$

$$= \mathbf{24,348.97 \text{ hrs.}}$$

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.

<b>AHORROS DE REPUESTOS E INSUMOS</b>				
<b>CÓDIGO</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>SUBTOTAL USD/AÑO</b>	<b>TIEMPO VIDA (AÑO)</b>	<b>TOTAL USD</b>
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. 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>	<b>1.86</b>
<b>CORRUGADO MEDIO</b>	<b>1.69</b>	<b>1.90</b>
<b>EXTENSIBLE</b>	<b>2.80</b>	<b>2.38</b>

**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.

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

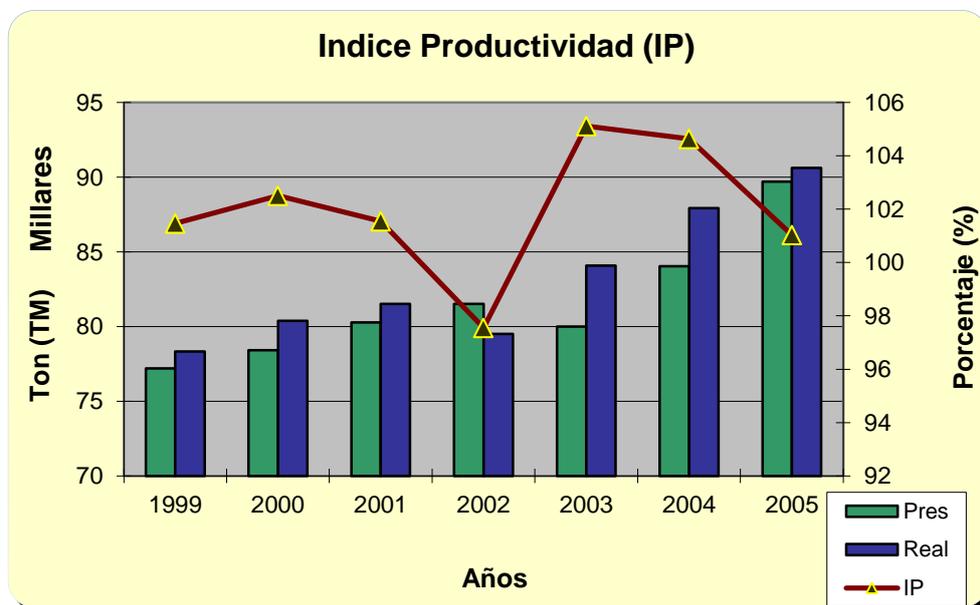
ec. 3.11

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 forzosos programados e imprevistos.

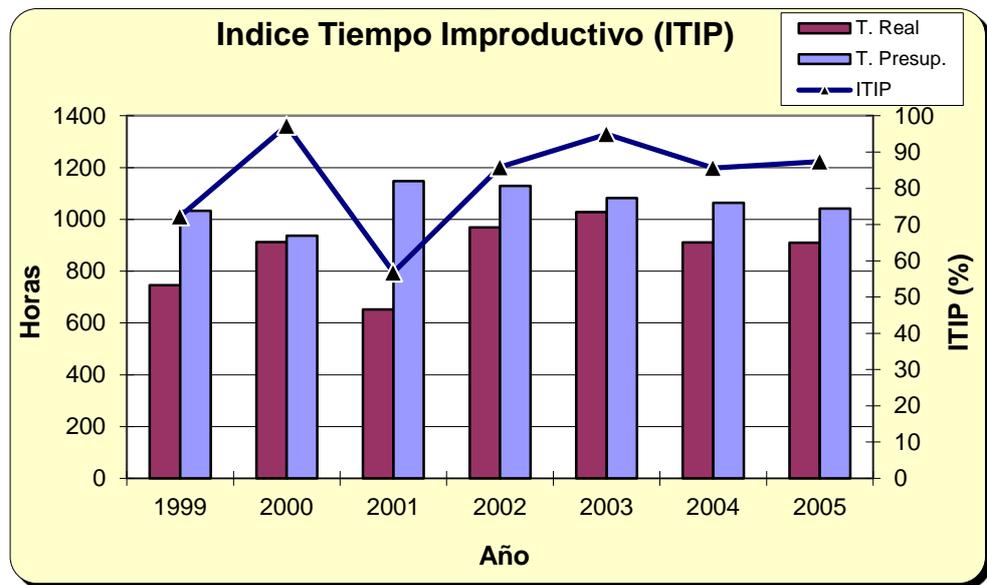
$$\text{ITIP} = \text{TI reales} / \text{TI pres.}$$

ec. 3.11

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

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

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



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

### 3.3. Impacto ambiental de la solución propuesta.

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

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

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

Está comprobado actualmente, que el costo por el tratamiento primario de un galón de agua en la planta de efluente de fábrica es de aproximadamente de 0.03 USD/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 USD/AÑO 1</b>	<b>AHORRO USD/AÑO 3</b>
	<b>ANTES</b>	<b>MEJORA</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

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

$$\text{ROI} = 1.58$$

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

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