

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

¹ Henry Bajaña Morante,
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 Vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
hbajana@panasa.com.ec, rbajana@hotmail.com.

² Ernesto Martínez Lozano, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Ingeniero Mecánico, 1983.
Diplomado en Manejos de Efluentes de Procesos Productivos, ESPOL, Guayaquil-Ecuador, 1997-1998, emartine@gu.pro.ec, emartine@espol.edu.ec.

Resumen

Este proyecto será aplicado en Papelera Nacional cuya instalaciones está ubicada en el Cantón Marcelino Maridueña del Km. 35 vía al Triunfo, es una planta industrial dedicada a la producción de Papel Kraft Liner, Test Liner, Corrugado medio y Papel Extensible, cuya fabricación se las realiza en dos unidades de producción llamados Molino 1 y Molino 2 y el objetivo principalmente es disminuir pérdidas de recursos usados en la producción de papel como materia prima, recursos naturales (agua, repuestos), mano de obra representados como costos de mantenimiento, e índices de mantenimiento y el impacto ambiental respectivamente, mejorando el sistema de bombeo de pulpa de papel. Esta mejora va direccionado más bien a evitar pérdidas materia prima al efluente de fábrica por baja eficiencia en el sistema de sellado de bombas, disminuir costos de producción y mantenimiento, mejorar los índices del mantenimiento con el fin de obtener también mejores utilidades anuales de la empresa. En este proyecto se realizará un estudio de causa raíz de los derrames de agua y pulpa de papel existente en la planta, de los costos e índices mencionados de mantenimiento, seleccionando equipos que representan el mayor porcentaje de pérdidas, aplicando técnicas estadísticas como la distribución de Weibull, como una herramienta usada hoy en día para el estudio de la disponibilidad y confiabilidad operacional de los equipos de una organización.

Palabras claves: *Pérdidas, materia prima, recursos naturales, agua, repuestos, costos de producción y mantenimiento, índices de mantenimiento, impacto ambiental, efluente de fábrica, baja eficiencia, sistema de sellado en bombas, causa raíz, derrame de pulpa de papel, técnicas estadísticas, distribución de Weibull, disponibilidad, confiabilidad operacional.*

Abstract

This project will be applied in Papelera Nacional S.A. whose facilities are located in the canton Marcelino Maridueña of km 35 route the Triunfo, is an industrial plant dedicated to the production of Paper Kraft Liner, Liner Test, Corrugated Medium and Extensible Paper, whose manufacture is realized them in two units of production called Mill 1 and Mill 2 and the primary objective is to diminish losses of resources used in the production of paper like raw material, natural resources (water, spare parts), manpower represented like maintenance costs, and indices of maintenance and the environmental impact respectively, improving the system of paper pulp pumping. This improvement is rather going addressed to avoid losses raw material to the effluent of factory by low efficiency in the system of seal of pumps, to diminish production costs and maintenance, to improve the indices of the maintenance with the purpose of to also obtain better annual utilities of the company. In this project a root cause study will be realized of the spills of water and pulp of existing paper in the plant, of the costs and mentioned indices of maintenance, selecting equipment that represents the greater loss percentage, applying technical statistics like the distribution of Weibull, as a tool used nowadays for the study of the availability and operational reliability of the teams of an organization.

Keywords: *Losses, raw material, natural resources, water, spare parts, production costs and maintenance, indices of maintenance, environmental impact, effluent of factory, low efficiency, system of seal in pumps, root cause, paper pulp spill, statistical techniques, distribution of Weibull, availability, operational reliability.*

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 podamos 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 bombeos de pulpa de papel, usando un sistema que nos permita solucionar las constantes fugas y derrames de pulpa en las bombas de pasta, lo que generaba para la empresa pérdidas de recurso fibroso necesario para su proceso productivo. No permitiéndonos afectar a la productividad de nuestra empresa y disminuyendo el 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".

Contenido

En el capítulo 1.- Se hace una descripción del problema de productividad y de los altos costos de producción y mantenimiento que teníamos antes de la mejora propuesta y realiza. Para ello identificamos el

lugar donde se ejecuta el proyecto, ósea la empresa de estudio. Ella está dedicada a la producción de papel kraft y sus derivados como se anunció en la introducción y se muestra en la fig. #1.



Fig. # 1.
Producto Terminado

Dónde, se realiza el siguiente proceso productivo, comenzando desde la primera etapa con la recepción de la materia prima para comenzar con el proceso de disgregación, en la cual se separan las fibras de otros componentes a través del pulpeo de la materia prima, acompañado de otros elementos que ayudan a separar metales pesados de la fibra que va a las siguientes etapas. Luego de ellos la pulpa pasa a otro proceso de separación, pero de materiales más livianos como el plástico y contaminantes de menor densidad. La siguiente etapa se conoce como el espesado de la pulpa, aquí se eleva la consistencia de pulpa de 9 a 10 %, con el fin de renovar el contenido de agua presente en la pulpa. Después de ello pasa al proceso de refinación y desfibrilación de la pulpa, es donde se corta la fibra de madera para dar las propiedades físicas del producto final que es el papel, antes de mezclarse con la pulpa de recirculación del sistema, esta etapa se conoce como la mezcla de la pulpa, de allí pasa nuevamente a otro proceso de limpieza, pero en esta etapa se trata de extraer materiales de baja densidad como la arena a través del proceso de centrifugado con baterías de limpiadores primarios, secundarios, terciarios y por ultimo como un limpiador presurizado que hace el papel de depuración final de la pulpa, antes de entrar al proceso de formación y extracción de agua, prensado, secado y enrollado de la hoja de papel formada (producto final), como se muestra en la fig. #2 el proceso de flujo de pasta en uno de los molinos de nuestra planta.

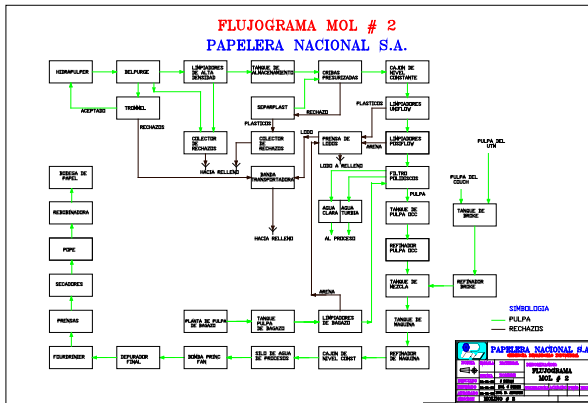


Fig. # 2. Flujograma típico de bloque de proceso de Papel Kraft.

Como es de pensar que todo proceso genera la inversión de recursos y que estos tienen que ver con la productividad (comparación entradas/salidas), esta puede ser afectada si no hacemos conciencia en el control de los procesos y gestión en el mantenimiento. En la siguiente tabla #1, se muestra los costos representativos, con la descripción de cada parámetro que se ha podido cuantificar, con el cual se ha podido justificar el proyecto de mejora en el sistema de bombeo en nuestra planta.

Tabla #1. Resumen de costos e índices por pérdidas de recurso para la producción.

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

ND: NO HAY DATOS

Como podemos observar en la tabla #1, que los costos ascienden aproximadamente entre los USD 144,500.0, cuya cantidad se la podría utilizar más bien para invertir en tecnología que nos ayuden a corregir estos problemas desde su causa raíz, como se lo hizo en este proyecto. Adicional a ello se muestra en la fig. #3, el estado inicial de algunos equipos de bombeo en nuestra planta, que podemos decir o describirlos, eran los problemas crónicos de fuga de pulpa, las mismas que ciertas cantidades se iban al efluente de fábrica y

otras si se las podía recuperar manualmente, donde se tiene que usar el recurso humano necesario para esta actividad, que si no tuviéramos este problema no se lo haría.



(a)



(b)

Fig. #3. Estado de bombas por daño del sistema de sellado.

En el capítulo 2.- Se hace una descripción de la historia de los sistemas de sellados en bombas de proceso de pulpa de papel, su evolución de acuerdo al avance tecnológico y exigencias ambientales, donde el inicio se da con el uso de prensaestopa y termina con sellos mecánicos partidos, este último por ser mucho más eficiente está reemplazando a los primeros, en la fig. #4 y Fig. #5 respectivamente, se muestra los dos sistemas de sellado.

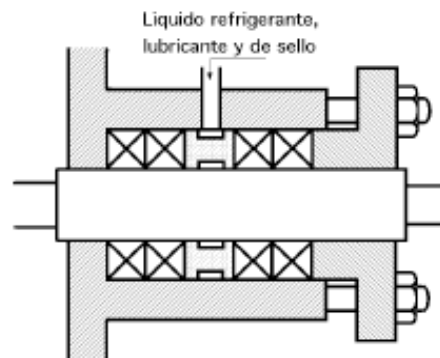


Fig. #4. Sello de empaquetadura

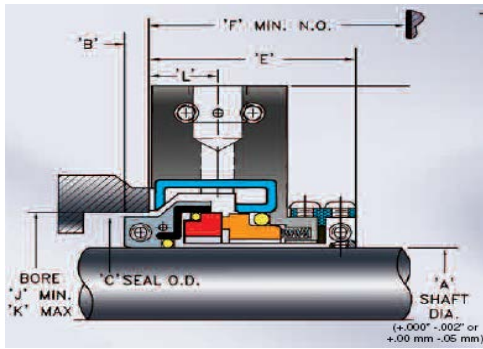


Fig. #5. Sello mecánico de última generación.

De acuerdo a esta selección de sistemas para mejorar la operación de los sistemas de bombeos de pulpa de papel, se consideran algunos criterios entre ellos el de la producción más limpia como una metodología integral de manejar bien los recursos e insumos de la planta. Para ello podemos definir que la producción más limpia es “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”. Entonces con este concepto en nuestra empresa los criterios considerados son:

- Reducción de fugas de pulpa de papel
- Reducción de fugas de químicos contaminantes
- Reducción de derrame de lubricantes
- Reducción de efluentes a la planta clarificadora
- Costo de materia prima
- Concientización de la parte operativa

Además de estos criterios es necesario considerar otros, que tienen que ver mucho con la parte técnica y de seguridad, considerados hoy en día muy importante para tomar decisiones concretas y acertadas en beneficio de las empresas competitivas como las nuestra. Entre ellos tenemos:

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

Por lo tanto de acuerdo a estos criterios, tenemos en la tabla #2, el siguiente análisis cualitativo del sistema a seleccionar.

Tabla #2. Selección del sistema de sellado (evaluación cualitativa)

ANÁLISIS DE SELECCIÓN DEL SELLO (EVALUACIÓN CUALITATIVA)							
TIPO DE SELLO	FACTORES						
	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

Valores Ponderados		Costo de Inversión	
Malo	0 - 3	2000 - 6000 \$	0 - 3
Bueno	4 - 7	1000 - 2000 \$	4 - 7
Excelente	8 - 10	100 - 1000 \$	8 - 10

De acuerdo al riesgo que representa la inversión de un nuevo sistema, existe otra técnica que nos permite tomar decisiones es la técnica llamada teoría de riesgo, donde su matriz se muestra en la tabla #3.

Tabla #3. Matriz de evaluación del riesgo

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

El resultado de la selección del sistema de sellado de acuerdo a la teoría de riesgo se da en la tabla #4.

Tabla #4. Selección del sistema de sellado (teoría del riesgo)

ANÁLISIS DE SELECCIÓN DEL SELLO (EVALUACIÓN CUALITATIVA DEL RIESGO)								
TIPO DE SELLO	FACTORES DE RIESGOS							
	Frecuencia	Impac. Operac.	Flexib.	Costo Mantto	SAH	Consecuenc.	Críticidad Frec x Cons	Matriz Riesgo
SISTEMA DE EMPAQUETADURA	4	10	1	2	6	18	72	Semi Crítico
SISTEMA DE SELLO MECÁNICO DE CARTUCHO	1	10	1	2	6	18	18	No Crítico
SISTEMA DE SELLO MECÁNICO PARTIDO	1	1	1	1	6	8	8	No Crítico

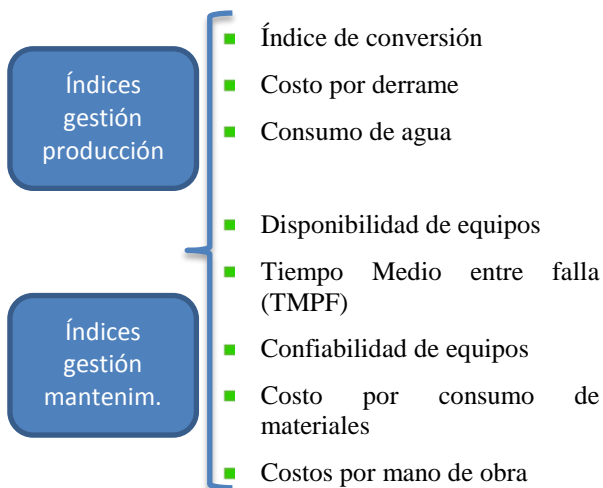
C: Crítico	(91 - 200)
SC: Semi Crítico	(41 - 90)
NC: No Crítico	(1 - 40)

FRECUENCIA		CONSECUENCIA				
Frecuencia	4	3	2	1	10	20
4	40	30	20	10	40	80
3	30	20	10	5	30	60
2	20	10	5	2.5	20	40
1	10	5	2.5	1.25	10	20
	10	20	30	40	50	

De las tablas de referencia de evaluación cualitativa fig. #2 y evaluación del sistema del punto de vista del riesgo fig. #4, se llega a la conclusión que el mejor

sistema de sellado recomendado para nuestro equipos de bombeo de nuestra empresa es el de sello de última generación o sello partido por el hecho de tener muchas ventajas. Se hace el seguimiento respectivo en los inicios del proyecto como un plan piloto y los resultados que se tienen son muy favorables que nos permite continuar con el proceso de implantación del nuevo de sistema de sellado como mejora en los equipos de bombeo de nuestra planta.

En el capítulo 3.- Se logra prácticamente hacer una evaluación global de los resultados del proyecto, cuantificar los mismos y hacer un comparativo con el sistema anterior. Estos resultados se van a ver reflejado en los parámetros más importantes considerados como los mostrados en el siguiente esquema.



El índice de conversión. Este índice me indica la relación entre la entrada y salida de la materia prima. Con este proyecto, aunque por las grandes cantidades de consumo anual de materia, la cantidad ahorrada es bien pequeña (0.30%), pero tiene un significado importante al tratarse del valor financiero que representa, que súmanos a los otros costos relacionados, sirven para justificar la inversión.

Costo por derrame. La emigración de la pulpa derramada al efluente de fábrica, trae como consecuencias perdidas de materia prima, que si se evitaran, irían directamente al proceso productivo de papel. Al inicio del proyecto se cuantificaba aproximadamente unos 242 TM/año, que tienen un costo financiero aproximado de 40,000.00 USD/año. La idea con este proyecto es ahorrarnos esta cantidad de dinero, para el beneficio de nuestra empresa y sus accionistas.

Consumo de agua. Debemos conocer en el proceso de pulpa de papel, es una mezcla ternaria o cuaternaria de fluidos (agua, material fibroso, químicos y otros),

con aproximadamente el 95% de agua. Adicional a ello se usa agua fresca (pozo profundo) para el enfriamiento del sistema de sellado de las bombas de pulpa, la misma que emigraba al efluente de fábrica después de usarla, por el sistema deficiente de sellado. Con el nuevo sistema, se usa agua para mantener lubricado el sistema de sellado, pero ya no tenemos fugas, más bien el agua antes perdida, ahora se va juntamente con el proceso de pulpa de papel. Con el nuevo sistema de sellado existe una reducción de aproximadamente el 50% comparado con el sistema anterior.

Disponibilidad de equipos. Este índice de mantenimiento nos indica “La probabilidad de que un equipo se encuentre en condiciones de cumplir su misión en instante dado”. También nos indica el desempeño de equipos, como tal, antes de proyecto, era afectado por las frecuentes paros de equipos debido al deficiente sistema de sellado. En la siguiente figura #6, se muestra este índice antes del proyecto (año 2003) comparado con el después de la mejora (año 2004 en adelante), donde es evidente el incremento de este índice de desempeño del sistema de bombeo de pulpa de papel, debido a la mejora realizada.



Fig. #6. Disponibilidad de equipos

Tiempo medio para los fallos (TMPF). Es el tiempo en que el sistema está operativo, hasta que ocurre la falla de un grupo de ítems de mantenimiento en un periodo determinado. Antes del proyecto, teníamos un tiempo estimado de los equipos de bombeo de 7.26 meses, el cual fue superado con la mejora realizada, como podemos observar en la tabla #5. Como es evidente lo confirmado, el TMPF después del proyecto con un tiempo de evaluación de 5 años aproximadamente es de 32.3 meses (2.7 años).

Tabla #5. TMPF equipos de bombeo de pulpa.

CÓDIGO EQUIPO	EQUIPO	TMPF	
		[HRS]	[MES]
21B17	Bomba del Hidropulper # 2	31,560.0	43.8
21B13-1	Bomba del Hidropulper #1 Kraft	16,824.0	23.4
23B111-1	Bomba principal dump chest *	13,872.0	19.3
23B321-1	Bomba # 1 agua blanca norte (nueva)	36,552.0	50.8
23B322-1	Bomba # 2 agua blanca sur (nueva)	13,272.0	18.4
23B41	Bomba al selectifier	44,328.0	61.6
23B42	Bomba limpiador primario uniflow	48,216.0	67.0
23B43	Bomba limpiadores primarios posiflow	22,776.0	31.6
23B45-1	Bomba limpiadores secundario uniflow	11,208.0	15.6
24B212	Bomba tanque kraft refinación #2	11,712.0	16.3
24B31	Bomba tanque mezcla	26,520.0	36.8
23B33	Bomba de regulacion de consistencia	45,504.0	63.2
24B34	Bomba tanque pulpa kraft almacenam	18,840.0	26.2
423B31-1	Bomba del pozo couch # 1	19,176.0	26.6
41B21-1	Bomba Primaria de Máquina	10,592.0	14.7
41B24-1	Bomba Secundaria de máquina	34,864.0	48.4
81B13	Bomba princ.del Hidropulper (P-02)	8,736.0	12.1
83B11	Bomba del Bel Purge (P-01)	17,520.0	24.3
83B41	Bomba tanque dump chest (P-03)	14,952.0	20.8
83B54	Bomba de criba secundaria (P-04)	5,928.0	8.2
83B60	Bomba limpiad.primarios uniflow (P-05)	840.0	1.2
83B61	Bomba limpiad.secud.uniflow (P-06)	22,704.0	31.5
83B62	Bomba limpiad.primarios posiflow (P-15)	27,072.0	37.6
83B72	Bomba tanque de broke chest (P-22)	8,168.0	11.3
84B11	Bomba tanque OCC (P-09)	6,576.0	9.1
83B64	Bomba limp.secund.posiflow (P-16)	35,424.0	49.2
91B11	Bomba tanque de máquina (P-14)	29,976.0	41.6
923B31	Bomba principal couch pit-rotura (P-20) *	42,336.0	58.8
923B32	Bomba couch pit-normal (P-21) *	46,704.0	64.9
96B401	Bomba del UTM break (P-26)	28,320.0	39.3
96B402	Bomba del UTM trim (P-27)	19,704.0	27.4
		23,250.8	32.29

Confiabilidad de equipos. De igual manera este índice “Es la probabilidad de que un equipo cumpla su función específica bajo condiciones de operación determinada en un periodo determinado”, está relacionada con el número de fallos y con el TMPF, a través de la siguiente ecuación, que está en función del tiempo:

$$R(t) = e^{-[t/\eta]^\beta} \quad \text{ec. 1}$$

conocida como la expresión de Weibull para equipos mecánicos. Con los tiempos (t) conocidos, vida característica del sistema (η), que está en función de TMPF, y el parámetro de forma (β), podemos calcular la distribución de confiabilidad del grupo de bombas consideradas en el proyecto. Para ello necesitamos seguir un procedimiento básico para encontrar con aproximaciones los parámetros de la ecuación con más exactitud, donde podemos usar el papel de Weibull (Allen Plait) y a través de regresión lineal los parámetros, obtenemos: β=1.82; η=27,157.84 hrs. Con estos datos podemos obtener la confiabilidad y su distribución de acuerdo a la tabla #6 y figura #7.

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

$$E(t) = \text{TMPF} = \eta \Gamma(1+1/\beta) \quad \text{ec. 2}$$

Tabla #6. Distribución de la función confiabilidad de equipos de bombeo de pulpa de papel.

N°	t [Hrs]	R(t) exp(-(t/η)^β)	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

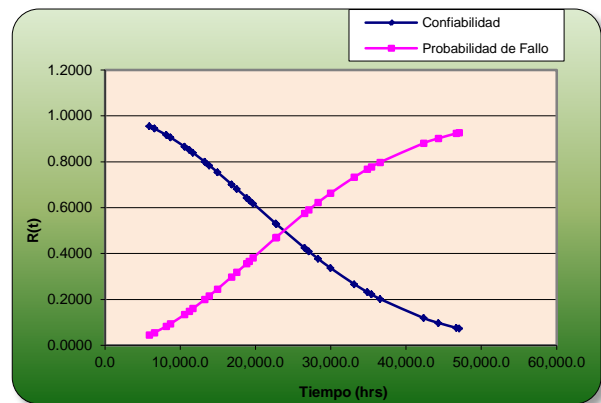


Fig. #7. Distribución de la función confiabilidad

con los parámetros ya calculados anteriormente y con una tabla de función gamma (Γ), tenemos que E(t) = TMPF = 24,348.97 hrs, que es un valor teórico y que difiere del valor promedio de las tablas anteriores, pero que está de acuerdo al gráfico de la figura #7 y mucho mejor del estimado inicial de 5,184.0 hrs (7.2 meses).

Costos por consumo de materiales. Este índice, siendo uno de los objetivos importantes de este proyecto a considerar se reduce, ya que los tiempos y frecuencia de fallas fueron disminuidos en los equipos de bombes de pulpa de papel. Los repuestos más representativos que fueron reducidos: Rodamientos, camisa de eje (manguito del eje), empaquetadura, retenedores y otros, que sumados tenemos valores reales de 28,628.79 USD/año, comparados con los valores estimados inicialmente es mucho menor, no considerando el grupo de bombas que quedaron fuera

del proyecto. Pero en fin el índice por consumo de repuestos en los años de operación de la mejora, fueron reducidos considerablemente, como se observa en la figura #7.

Tabla #7. Índice de consumo de repuestos.

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

Como resultado final el costo anual real de repuestos en los equipos de bombeo es de aproximadamente **10,497.30 USD/año**, considerando el costo anual sin la mejora dividido para el tiempo de vida promedio del grupo de bombeo 2.73.

Costo de mano de obra. Es otro índice considerado de relevancia en la justificación de este proyecto. La mano de obra de igual manera se reduce, debido a que los tiempos de vida útil de elementos mecánicos principalmente se aumenta, por lo tanto no es necesario intervenir los equipos anualmente, sino en el tiempo de vida del sistema de sellado de 2.73, que es la causa principal de su intervención. Entonces los costos de mano de obra antes eran un promedio 7,260.0 USD/año, con la mejora en el sistema de bombeo tenemos costos anuales que se aproximan a 2,591.54 USD/año.

Impacto ambiental de la solución. Esta ha sido de gran ayuda, para amenorar el impacto ambiental de nuestra empresa. Proyectos como estos, por lo general llaman mucho el interés, ya que estamos aportando con mecanismos fiables a la conservación y preservación del medio ambiente. Los beneficios que se ha obtenido con este proyecto son:

- ☛ Reducción de fibra de madera al efluente de fábrica.
- ☛ Reducción en el consumo de repuestos.
- ☛ Mejora en el ambiente de operación de los equipos de bombeos y de maniobras del personal.
- ☛ Reducción del agua fresca (agua de pozo profundo)

Tabla de resultados. Se muestra en resumen de los beneficios que nos ha dado el nuevo sistema de sellado en los equipos de bombeo de pulpa de papel.

Tabla #8. Tabla de resultados

TABLA DE RESULTADOS				
RESULTADOS ECONOMICOS				
DESCRIPCION DE LOS BENEFICIOS	COSTO (USD / AÑO)		AHORRO USD/AÑO 1	AHORRO USD/AÑO 3
	ANTES	MEJORA		
DERRAME DE PULPA DE PAPEL	39,486.37	0.00	39,486.37	78,972.75
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	77,600.00
RESULTADOS AMBIENTALES				
CONSUMO DE AGUA (GPA)	38,966,400.0	12,632,004.0	26,334,396.0	79,003,188.0
CONTAMINACION AMBIENTAL	CRITICO	CONTROLADA		
ASPECTO FISICO DEL AREA	MALA	BUENA		
RESULTADOS TECNICOS				
TMPR (MESES)	7.25	33.55		
DISPONIBILIDAD (%)	99.82	99.97		
CONFIABILIDAD (%)	ND	MEJORADA		
MANTENIBILIDAD	BUENA	BUENA		
Índice DE CONVERSION	HISTORICO	MEJORADO		
TOTAL DEL AHORRO ECONOMICO (USD)			143,860.98	304,719.59

ND: NO HAY DATOS

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 productividad 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 bombeos de nuestra planta.
- ☑ Una reducción de pérdida de fibra proyectada (equipo operando las 24 horas /día, los 330 días/año) con 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, etc.
- ☑ Reducción significativa del número de intervenciones en bombas: Ejemplo, la **bomba P15** del molino 2, la cual llega a 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 entre falla (**TMER**), que antes se la intervenía aproximadamente cada 6 meses y ahora con un tiempo muy superado de operación continua.
- ☑ Como consecuencia de los puntos anteriores, se ha logrado una reducción del costo de mano de obra por intervenciones de mantenimiento preventivo y correctivo de estos equipos.

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, platos e impulsor respectivamente. Para solucionar este problema de desgastes, recomendamos 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.
- Colocar 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 Mecánico.

Agradecimientos

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. Al Ing. Ernesto Martínez, por su invaluable labor en la dirección del desarrollo de esta tesis. A Papelera Nacional S.A. por la oportunidad de poder laborar en esta prestigiosa empresa, y ser el centro de aplicación de este proyecto.

Referencias

- [1] Douglas C. Montgomery y George C. Runger, Probabilidad y Estadística aplicadas a la ingeniería, Mc Graw Hill.
- [2] Technical Information Sheets TAPPI, Tappi Press, Atlanta – Georgia, USA – 1995.
- [3] ITT Industries, MANUAL DE BOMBAS GOULDS GPM8, USA - 2004.

- [4] SAE Internacional, Criterios de Evaluación del Proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reability Center Maintenance, RCM), Normas SAE JA1011, USA - 1999.
- [5] SAE Internacional, Guía para Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), Normas SAE JA1012, USA - 2002.
- [6] John Moubray, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II, Aladon, USA - 2004.
- [7] Leandro Daniel Torres, Mantenimiento Implementación y Gestión, 2da Edición, Universitas 2005.
- [8] Lourival Augusto Tavares, Administración Moderna de Mantenimiento, Novo Polo Publicación, Brasil - 2000.
- [9] James P. Casey, Pulpa y Papel, Química y Tecnología química, Volumen II, Limusa 1991.
- [10] Joel A. Nachlas, Fiabilidad, Isdefe, Madrid - 1995.
- [11] Pedro Fernández Díez, Bombas Centrífugas y Volumétricas, libros.redsauce.net.
- [12] Luis Améndola, Modelos Mixtos de Confiabilidad, Valencia, España -2002.
- [13] Jezdimir Knezevic, Mantenimiento, Isdefe, España - 1996.
- [14] National Aeronautics and Space Administration NASA, Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment, USA – 2000.
- [15] Jezdimir Knezevic, Mantenibilidad, Isdefe, España - 1996.
- [16] Chesterton, The New Standard for Reliability, Manual del Sello, USA - 1982.
- [17] Carlos Parra, Implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) en una Sistema de Producción, Sevilla – España, 2005.
- [18] La Llave S.A., Estudio de retorno de inversión “Proyecto Piso Seco”, Papelera Nacional, Ecuador-2003.
- [19] Goulds Pumps, Inc; Instrucciones de Instalación, manejo y mantenimiento, Modelo 3175, USA.
- [20] Centro Nacional de la Producción Más Limpia, Manual de Introducción a la Producción Más Limpia en la Industria, ICOTEC.