

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 ceros 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](#).

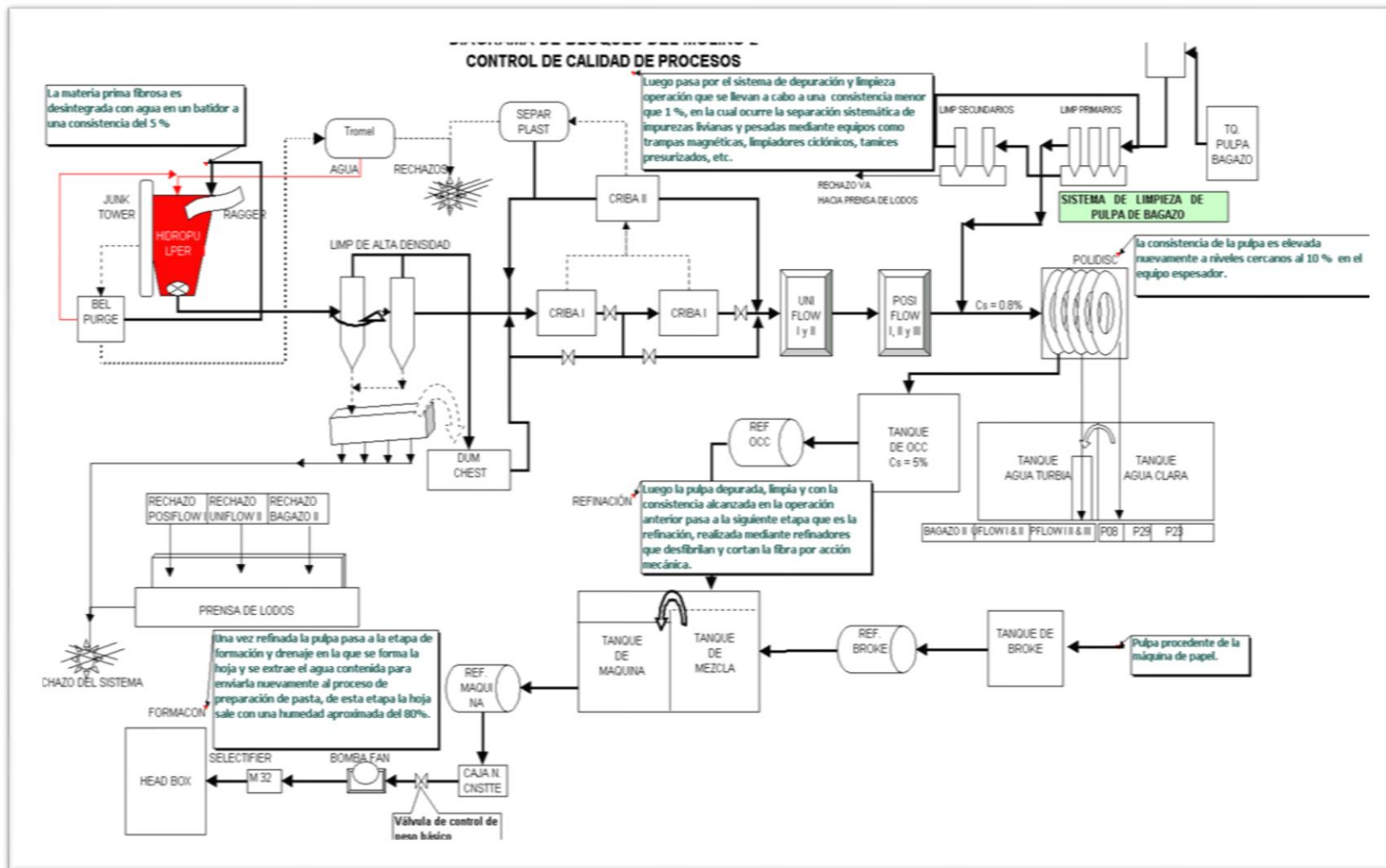


Figura N° 1.1: Diagrama de bloques de preparación de pulpa molino 2

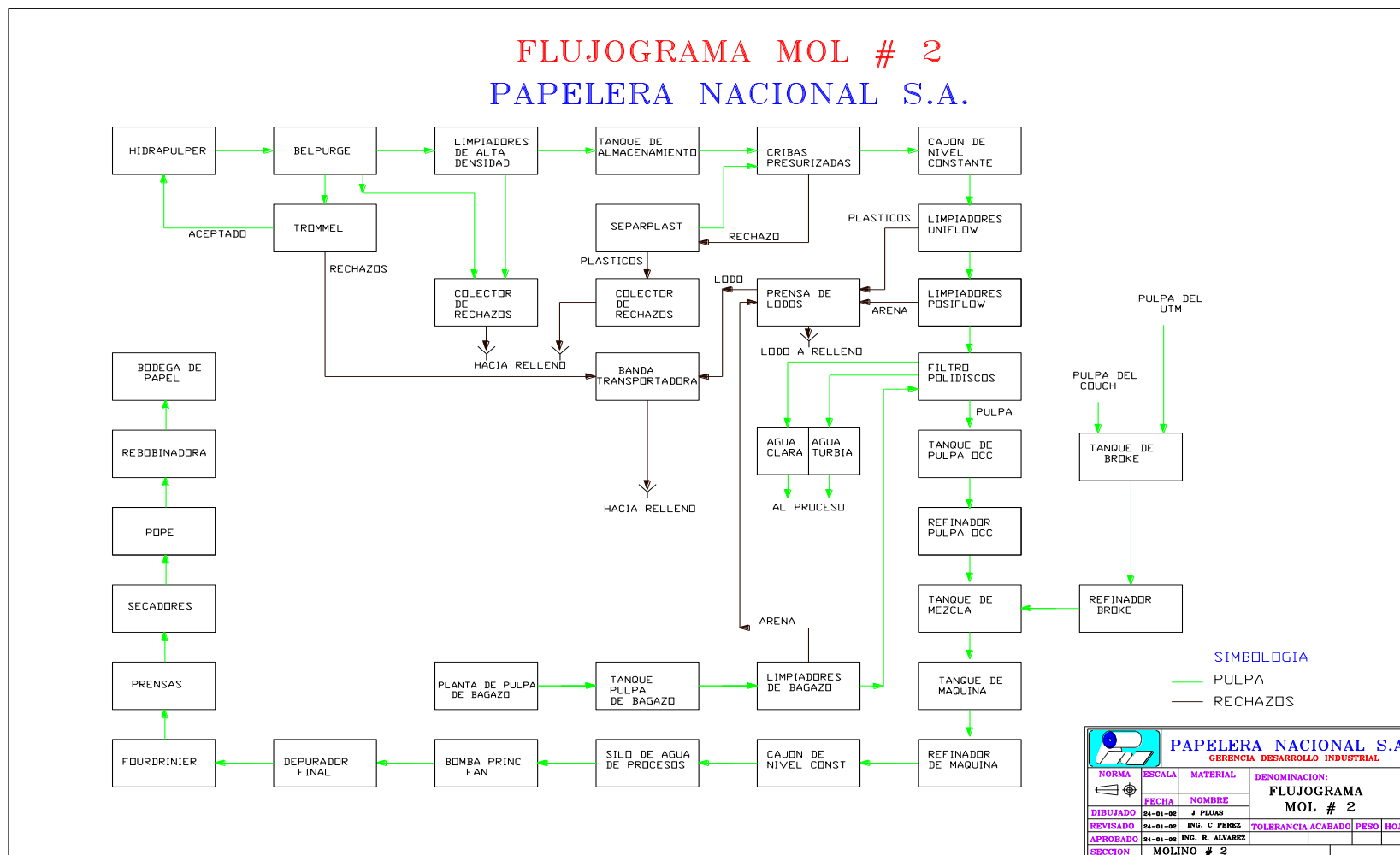


Figura Nº 1.2: Flujograma de proceso máquina de papel molino 2

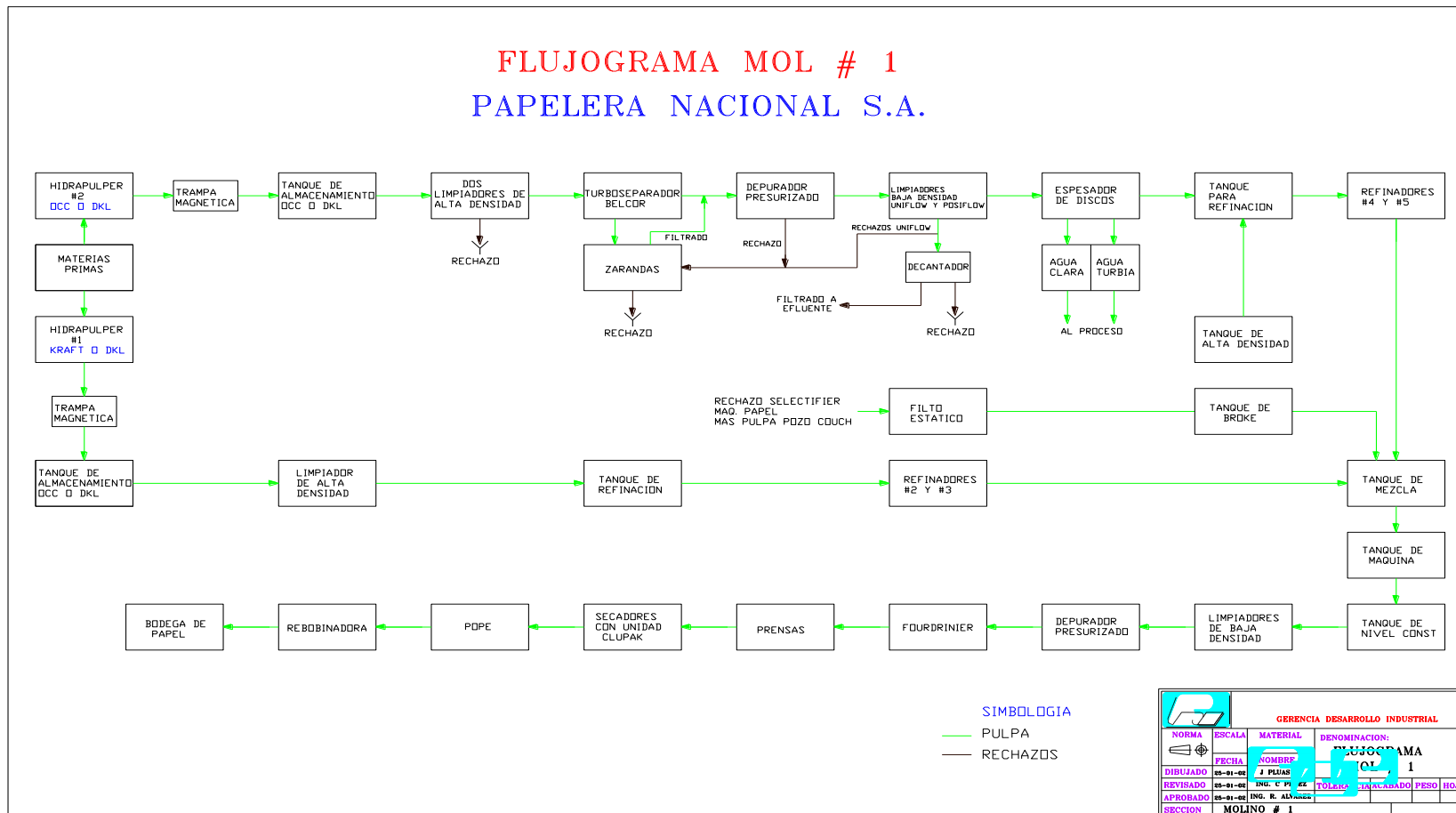
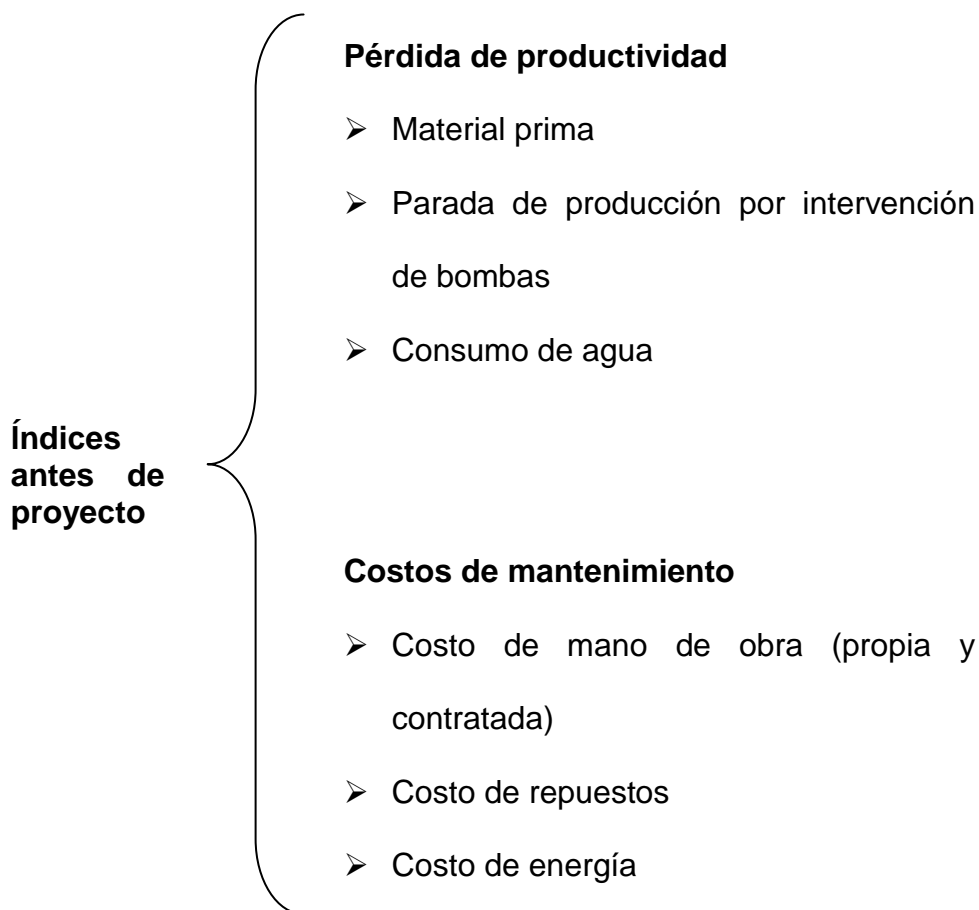


Figura N° 1.3: Flujograma de proceso máquina de papel molino 1

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

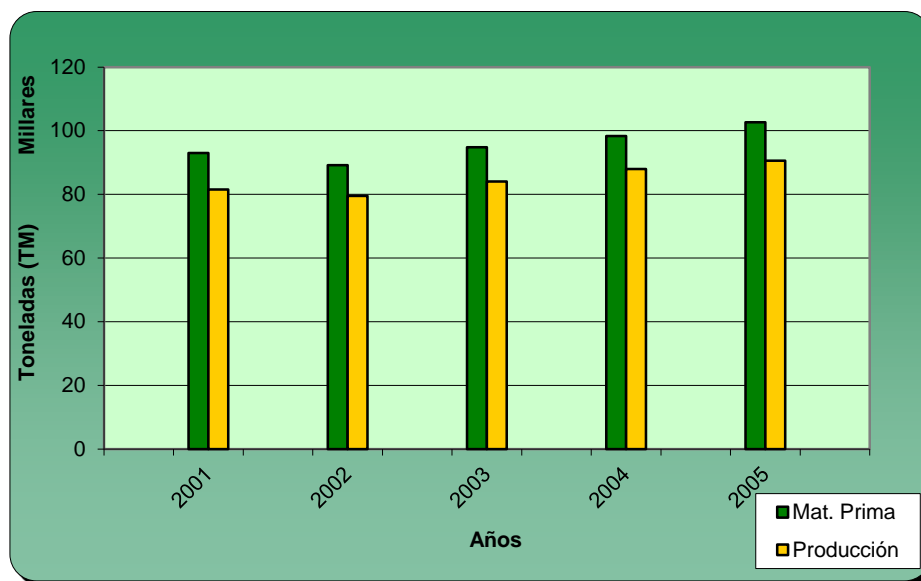


Figura N° 1.4. : Estadísticas de Consumo Prima y Producción

- ➔ **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					
CÓDIGO EQUIPO	EQUIPO	COSTO x PAR PRODUCCION USD / HR	HORAS x CAMBIO EMPAQUES	TIMER PROM MES	COSTO x PARADA PRODUCCION USD / AÑO
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.secud.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				
CODIGO 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.secund.uniflow (P-06)	2	120.00	240.00
83 B 62	Bomba limpiad.primarios posiflow (P-15)	4	180.00	720.00
83 B 72	Bomba tanque de broke chest (P-22)	1	150.00	150.00
84 B 11	Bomba tanque OCC (P-09)	4	150.00	600.00
84 B 14	Bomba tanque de bagazo (P-12)	1	150.00	150.00
83 B 64	Bomba limp.secund.posiflow (P-16)	2	150.00	300.00
91 B 11	Bomba tanque de máquina (P-14)	2	150.00	300.00
923 B 31	Bomba del couch normal (P-20)	1	150.00	150.00
923 B 32	Bomba del couch rotura (P-21)	2	150.00	300.00
96 B 401	Bomba del UTM break (P-26)	1	150.00	150.00
96 B 402	Bomba del UTM trim (P-27)	1	150.00	150.00
21B17	Bomba del Hidropulper # 2	1	150.00	150.00
21B13-1	Bomba del Hidropulper #1 Kraft	1	150.00	150.00
23B111	Bomba principal dump chest *	2	150.00	300.00
23B241	Bomba tanque de broke *	2	120.00	240.00
23B321-1	Bomba # 1 agua blanca norte (nueva)	3	120.00	360.00
23B322-1	Bomba # 2 agua blanca sur (nueva)	4	150.00	600.00
23B41	Bomba al selectifier	2	150.00	300.00
23B43	Bomba limpiadores primarios posiflow	3	150.00	450.00
23B45	Bomba limpiadores secundario uniflow	1	120.00	120.00
23B47	Bomba limpiadores secundario posiflow	2	120.00	240.00
24B111	Bomba principal desperdicios *	2	150.00	300.00
24B211	Bomba tanque kraft refinación #1 *	1	150.00	150.00
24B212	Bomba tanque kraft refinación #2	1	150.00	150.00
24B31	Bomba tanque mezcla	2	150.00	300.00
23B33	Bomba de regulacion de consistencia	2	150.00	300.00
24B34	Bomba tanque pulpa kraft almacenam.	1	150.00	150.00
23B42	Bomba limpiadores primarios uniflow	4	150.00	600.00
41B111-1	Bomba tanque máquina	1	150.00	150.00
423B31	Bomba del pozo couch # 1	1	150.00	150.00
423B32	Bomba del pozo couch # 2	1	150.00	150.00
41B21	Bomba primaria de máquina	3	150.00	450.00
41B241	Bomba secundaria de máquina	1	150.00	150.00
			COSTO DE MANO OBRA (USD/Año)	11,790.00

Tabla N° 1.4: Costo de mano de obra contratada

➔ Costo de repuestos

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

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

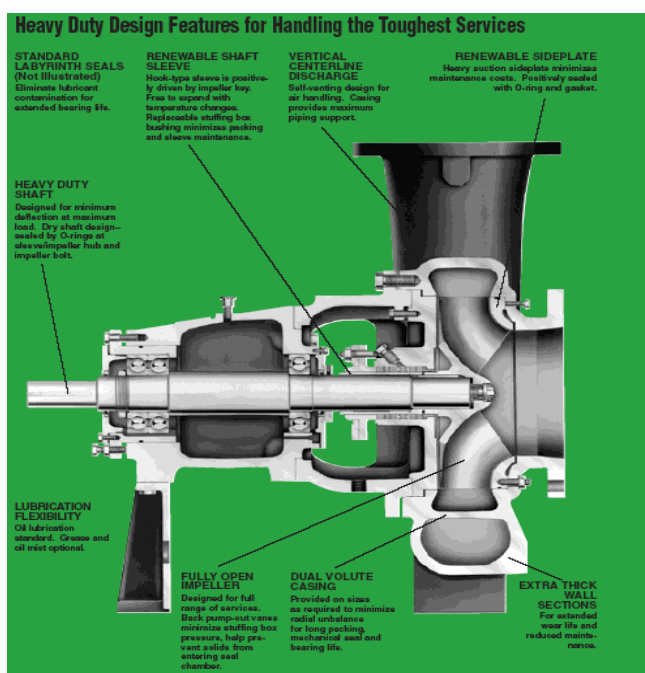


Figura Nº 1.5: Elementos de una bomba de proceso de pulpa de papel.

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.

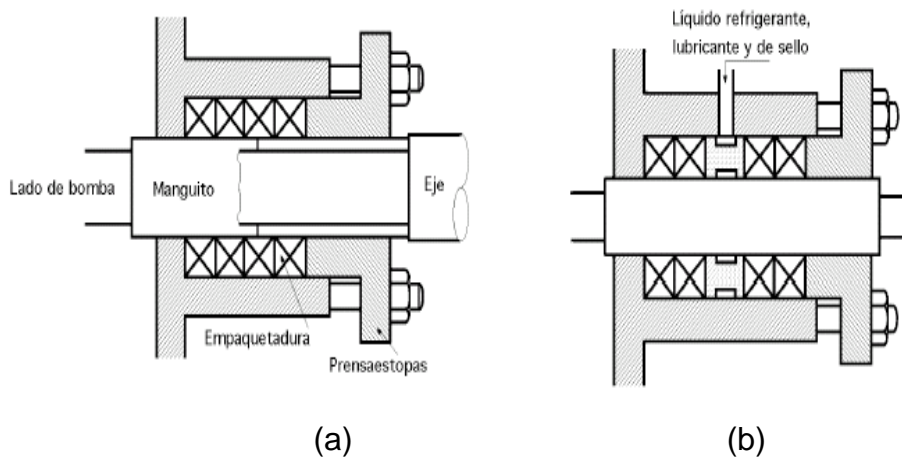


Figura N° 1.6: Esquema típico de sello con empaquetadura.

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 estoppera y el eje de la bomba, separa la caja estoppera por cordones (anillos) de empaquetaduras, y que por la constante fricción con la empaquetadura su superficie es desgastada, lo que representa una incidencia importante en los costos de mantenimiento (ver mas información en apéndice I).

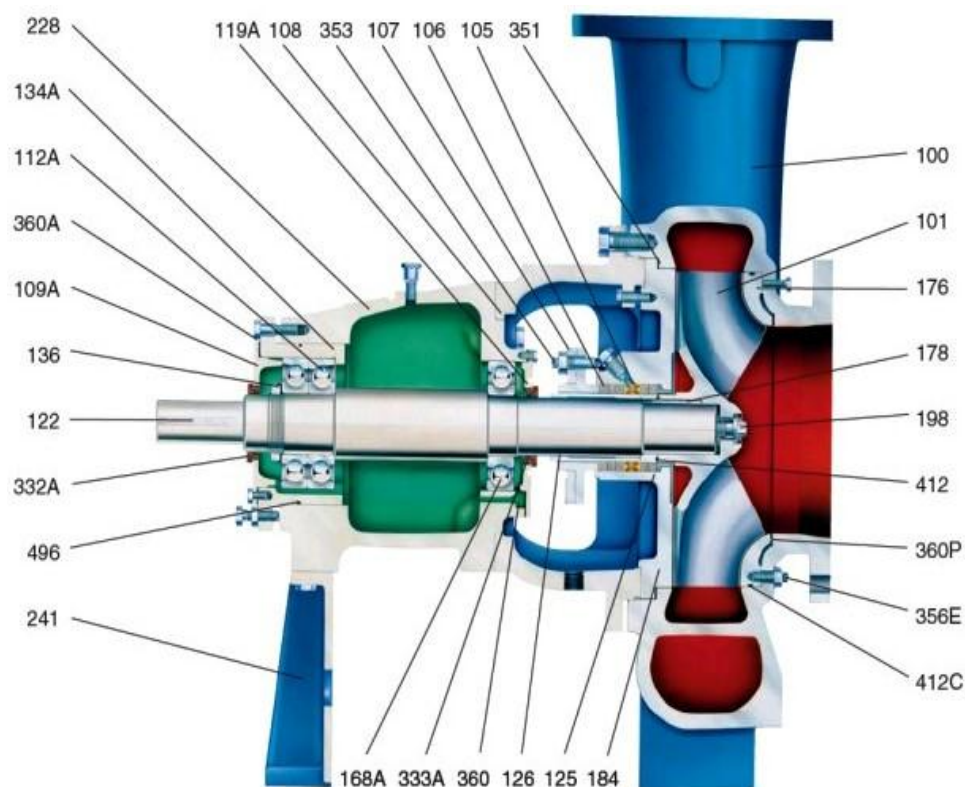


Figura N° 1.7: Partes de una bomba.

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

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

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

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

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

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

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

Tabla N° 1.6: Costos de repuestos antes del Proyecto

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

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

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

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

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

ESTADÍSTICAS 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 debidas al daño del sistema de sellado de las bombas de pulpa de papel y que para nuestro propósito es fundamental considerarlas.

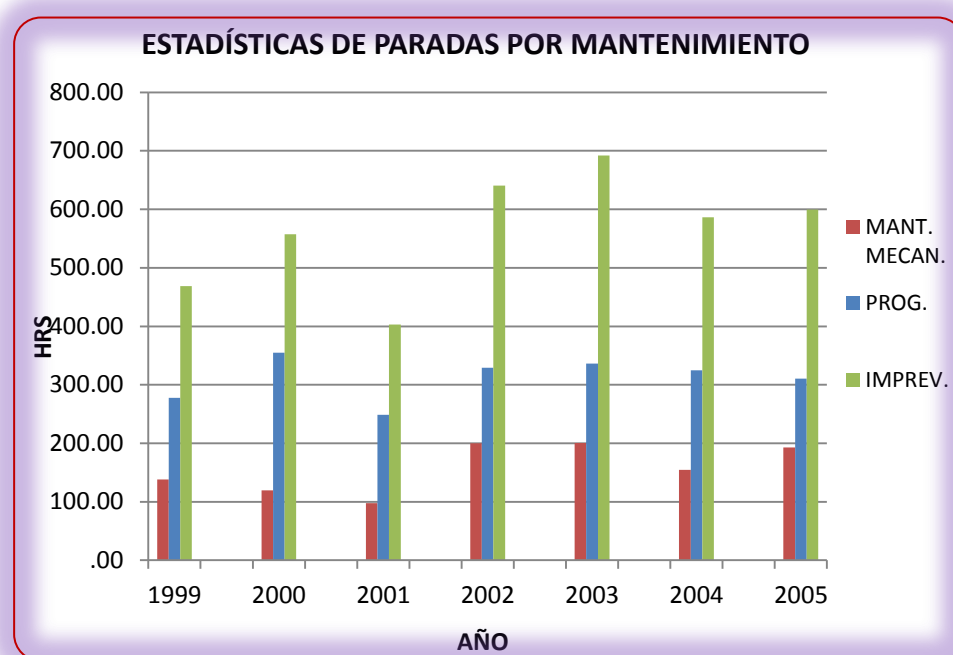


Figura N° 1.8. Estadísticas de tiempos por paradas de máquina

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

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

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

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

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

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

Donde;

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

GMP: Galones promedios de mezcla perdidos

%C: Porcentaje de consistencia

* Tomado del Manual de TAPPI, considerado en bibliografía.

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

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

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

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

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

Tabla N° 1.9. Evaluación de derrame año 2002

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

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

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

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



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

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



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

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



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

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



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



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

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

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



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

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



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

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



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

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

Índices de Mantenimiento.

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

La Disponibilidad.-

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

Tiempo Medio Entre Reparación (TMER).-

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

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

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

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

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

La Confiabilidad.-

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

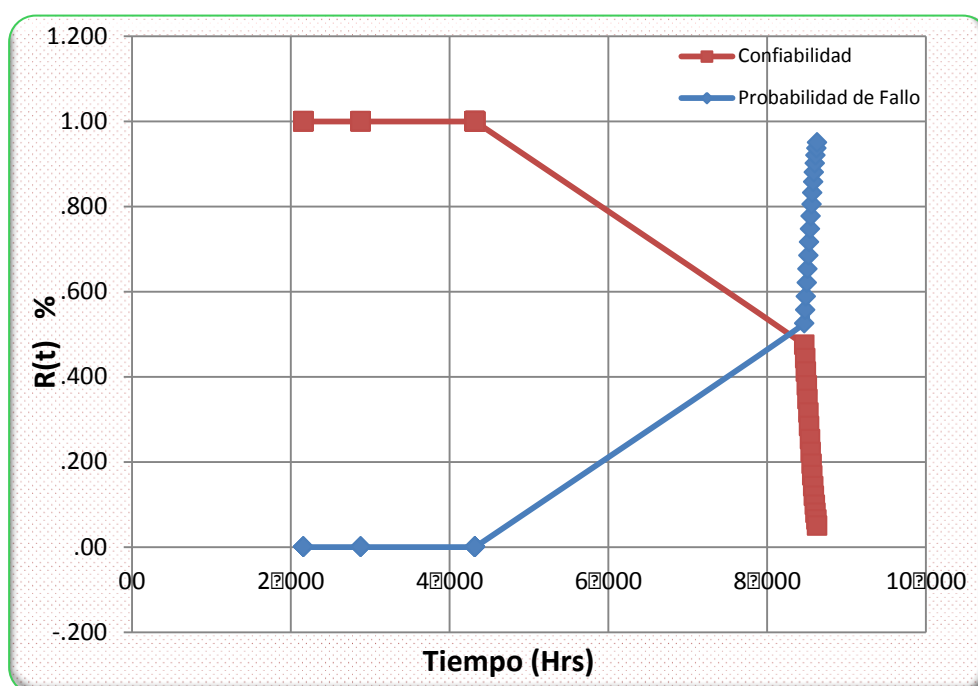


Figura N° 1.17: Confiabilidad de equipos de bombeo antes del proyecto.

La Mantenibilidad.-

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

RESUMEN DE COSTOS DE PRODUCCION E ÍNDICES DE MANTENIMIENTO AL INICIO

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

Tabla Nº 1.12: Resumen de costos e índices de mantenimiento