

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN
CENTRALIZADO EN UNA MÁQUINA DE CORTE DE ROLLOS DE
PAPEL HIGIÉNICO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SERGIO RICARDO HERRERA TRANGAY
Asesorado por: Ing. Ignacio Quiros Amieva

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

Guatemala, noviembre 2003



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN
CENTRALIZADO EN UNA MÁQUINA DE CORTE DE ROLLOS DE
PAPEL HIGIÉNICO**

Sergio Ricardo Herrera Trangay
Asesorado por: Ing. Ignacio Quiros Amieva

Guatemala, noviembre 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

Decano Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR Ing. Pedro Enrique Kubes Zacek
EXAMINADOR Ing. José Arturo Estrada Martínez
EXAMINADOR Ing. Herbert Antonio Mendoza
SECRETARIA Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN CENTRALIZADO EN UNA MÁQUINA DE CORTE DE ROLLOS DE PAPEL HIGIÉNICO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 12 de marzo de 2002

Sergio Ricardo Herrera Trangay

Guatemala, 24 de octubre de 2003

Ing. José Arturo Estrada Martínez
Coordinador de la Carrera de Ingeniería Mecánica
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Ingeniero Estrada:

En mi calidad de asesor, tengo el agrado de dirigirme a usted para presentarle el trabajo de graduación del estudiante Sergio Ricardo Herrera Trangay, titulado "**DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN CENTRALIZADO EN UNA MÁQUINA DE CORTE DE ROLLOS DE PAPEL HIGIÉNICO**", previo a optar al examen público en la carrera de ingeniería mecánica.

Sin otro particular, me suscribo de usted, atentamente

Ignacio Quirós Amieva
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado No. 4069

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	IX
OBJETIVOS	XI
INTRODUCCIÓN	XIII
1. LUBRICACIÓN	1
1.1. Concepto	1
1.2. Razones para lubricar	5
1.3. Funciones de un lubricante	7
1.4. Periodicidad de la lubricación	8
1.5. Lubricación básica de los mecanismos comúnmente utilizados	
en máquinas de corte de rollos de papel higiénico	10
1.5.1. Lubricación de cojinetes lisos	10
1.5.2. Lubricación de rodamientos	11
1.5.3. Lubricación de engranajes	12
1.5.4. Lubricación de cadenas	14
2. SISTEMAS DE LUBRICACIÓN CENTRALIZADOS	17
2.1. Concepto	17
2.2. Sistema paralelo de una línea	19
2.2.1. Componentes básicos	19

2.2.1.1.	Bombas	19
2.2.1.2.	Sistemas de control	21
2.2.1.3.	Depósitos	24
2.2.1.4.	Válvulas de alivio	26
2.2.1.5.	Inyectores	27
2.2.2.	Funcionamiento	31
2.2.3.	Ventajas y desventajas	32
2.3.	Otros sistemas	35
3.	PROCESO DE ELABORACIÓN DE PAPEL HIGIÉNICO	37
3.1.	Proceso de fabricación de pasta de papel reciclado	37
3.1.1.	Clasificación	37
3.1.2.	Triturado o desfibrado	39
3.1.3.	Depuración de la pasta	39
3.1.4.	Blanqueo y mejora de la pasta	40
3.2.	Fabricación del papel	41
3.2.1.	Refinado y aditivación	41
3.2.2.	Alimentación de la máquina de papel	42
3.3.	Conversión del papel a rollos de papel higiénico	44
4.	SITUACIÓN ACTUAL DE LA MÁQUINA	45
4.1.	Mantenimiento	45
4.2.	Producción	47
5.	MEJORAS PROPUESTAS A LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA MÁQUINA, POR MEDIO DEL USO DE UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN CENTRALIZADO	49

5.1. Mantenimiento	49
5.2. Producción	51
6. DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN CENTRALIZADO EN UNA MÁQUINA DE CORTE DE ROLLOS DE PAPEL HIGIÉNICO	53
6.1. Obtención de datos de campo	53
6.2. Cálculo de requerimientos por punto	54
6.3. Cálculo de frecuencia del ciclo y selección de inyectores	56
6.4. Cálculo del lubricante requerido por funcionamiento de los inyectores	57
6.5. Selección de la línea principal	58
6.6. Determinación del lubricante requerido para compensar expansión de la línea principal	63
6.7. Cálculo del largo de la tubería de entrega a los puntos	66
6.8. Selección de la bomba	67
6.9. Selección del sistema de control	68
6.10. Determinación del uso de accesorios	69
7. EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN	79
7.1. Parámetros de comparación	79
7.2. Resultados	80
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES	85
BIBLIOGRAFÍA	87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Microfotografías de superficies metálicas pulidas	2
2	Superficies en movimiento	3
3	Movimiento de las capas de un fluido entre dos superficies	5
4	Partes que deben lubricarse principalmente en una cadena	15
5	Etapas de funcionamiento de un inyector paralelo de una línea	28
6	Diferentes configuraciones de sistemas paralelos de una línea	30
7	Volumen de lubricante frente a intervalo de relubricación	50
8	Equipo de lubricación Lincoln paralelo de una línea para cadenas	76
9	Diagrama visto en planta de la instalación del sistema	77

TABLAS

I	Volumen de entrega para inyectores Lincoln tipo SL	57
II	Volumen requerido por inyectores Lincoln tipo SL para ciclar	58
III	Largos máximos para líneas principales.	60
IV	Equivalencias de tuberías para grasa NLGI 0	62
V	Equivalencias de tuberías para grasa NLGI 1	62
VI	Equivalencias de tuberías para grasa NLGI 2	63
VII	Cantidad de lubricante requerido por expansión de tubería	64

VIII	Largo máximo para líneas de entrega a puntos	66
IX	Volumen de entrega para algunas bombas Lincoln	68
X	Cálculo de intervalos de relubricación	70
XI	Cálculo de volumen por punto y volumen necesario para ciclar	71

GLOSARIO

Centistoke	Unidad de medida de uso común para expresar viscosidad cinemática de un fluido, la centésima parte de un <i>Stoke</i> .
Bombazo	Término con el que se conoce al accionamiento unitario de una engrasadora.
Bujes	Término con el que se conoce comúnmente a los cojinetes deslizantes de 360°.
Encolado	Acción de aplicar cola o pegamento a algo.
Engrasadora	Dispositivo común en la industria para aplicación de grasa, se acciona normalmente de manera manual al mover una palanca y empujar grasa a través de un acople hidráulico.
Kit FRL	Grupo de componentes neumáticos que consta de filtro, regulador de presión y lubricador neumático, de cuyas siglas proviene su nombre (F-R-L).
Niple	Término que se utiliza para designar un tramo corto de tubería, o también parte de un acople hidráulico.

NLGI	Instituto nacional de grasa lubricante, es el organismo que norma las características de dureza de una grasa.
Picos	Áreas que sobresalen por encima del nivel promedio en una superficie irregular.
Sprocket	Término con que se conoce una rueda dentada para cadena.
Temporizador	Dispositivo electrónico utilizado para realizar un conteo de tiempo usualmente empleado para accionar otros mecanismos.
Valles	Áreas que están por debajo del nivel promedio en una superficie irregular.
Válvula solenoide	Válvula que poseen una bobina eléctrica cuya función es cerrar o abrir la válvula al recibir una corriente eléctrica.
Switch	Interruptor que puede ser accionado por diferentes formas de energía.

RESUMEN

En la actualidad, una gran cantidad de productos utilizados por la sociedad son fabricados en papel o cartón de diferentes calidades y tipos. Uno de los productos que se utilizan y por consiguiente se producen en grandes volúmenes es el papel higiénico.

El papel higiénico puede ser producido a partir de papel reciclado o recuperado y su presentación usual es en rollos, los cuales pueden ser de diferentes diámetros y anchos dependiendo del fabricante. Sin embargo, cada rollo debe ser igual a otro dentro de su mismo lote, para satisfacer tanto los requerimientos de calidad del cliente como para evitar desperdicios innecesarios en la planta de producción, los cuales encarecen el costo del producto.

De tal manera, existen máquinas cortadoras especializadas en darle el ancho correcto a los rollos. Usualmente estas máquinas trabajan a altas velocidades debido a la alta exigencia de producto que tiene el mercado. Debido a que son maquinaria importante para la producción de rollos de papel higiénico, debe prestarse gran atención a su mantenimiento para tratar de obtener el máximo de disponibilidad de las mismas.

Dentro de los aspectos que componen el mantenimiento mecánico de las máquinas de corte de rollos, se encuentra la lubricación de sus componentes.

El propósito fundamental de este trabajo, es tratar de demostrar si existe algún beneficio, ya sea en el área de mantenimiento o producción, mediante el empleo de un sistema de lubricación centralizado automático en una máquina de corte de rollos de papel higiénico.

Para ello, primero se recabaron datos tanto de mantenimiento como de producción, de una máquina específica, con el objeto de tener un marco de referencia. Luego, con ayuda de estos datos, se procedió a diseñar un sistema de lubricación centralizado para dicha máquina. Posteriormente se implementó el sistema y se procedió a evaluar si existió algún cambio en los parámetros que se escogieron como referencia.

OBJETIVOS

- **General**

Diseñar e implementar un sistema de lubricación centralizado automático para una máquina de corte de rollos de papel higiénico, para mejorar la lubricación de la misma.

- **Específicos**

1. Obtener las especificaciones de los componentes de la máquina que necesitan lubricación.
2. Obtener los datos de operación actuales de la máquina (temperaturas de operación, velocidades, frecuencia de lubricación, cantidades, etc).
3. Seleccionar y diseñar un sistema automático de lubricación que satisfaga las necesidades de la máquina, teniendo en cuenta las condiciones de operación de la misma.
4. Instalar, probar y ajustar el sistema de lubricación centralizado.
5. Reducir la cantidad de mano de obra por mantenimiento y los tiempos muertos debidos a lubricación.
6. Medir el impacto que la instalación del sistema tiene en la operación y mantenimiento de la máquina.

INTRODUCCIÓN

La situación económica mundial, así como el ambiente de globalización actual hacen necesaria una mejora en la eficiencia de la industria en general, ya que para poder seguir siendo rentables y mantenerse con una tasa de crecimiento dentro del marco competitivo actual, cualquier industria debe mejorar continuamente la calidad de sus productos, aumentar su producción y disminuir sus costos. Un mejor mantenimiento de su maquinaria y equipo puede ser una de las formas en que una industria puede alcanzar estas metas.

Generalmente, el responsable del mantenimiento de la maquinaria en la mayoría de empresas productivas, es un ingeniero mecánico, o mecánico industrial. Normalmente este profesional se ve en la necesidad de estar realizando mantenimientos correctivos, los cuales representan una carga de trabajo y baja en la eficiencia productiva. Sin embargo es bien sabido por estos profesionales que al trasladarse a una filosofía de mantenimiento preventivo, en vez de un mantenimiento correctivo, se logran disminuir, entre otras cosas:

- a. Los paros no programados de maquinaria, que son probablemente los más costosos, debido al paro en la producción que conllevan.
- b. El costo en horas-hombre, tanto horas ordinarias como extraordinarias, que se hacen necesarias al tener que reparar una máquina de emergencia.
- c. El costo en repuestos que son utilizados en el momento de la reparación.
- d. La cantidad de repuestos necesarios de tener en bodega.

- e. El costo financiero que representa tener demasiados repuestos almacenados en bodega.

Debido a que la lubricación es una de las actividades de mantenimiento preventivo más importantes, es necesario considerar el hecho de que generalmente es posible mejorar la eficiencia con que se realiza esta actividad. Algunas de las formas en que se puede mejorar la eficiencia de la lubricación, pueden ser:

- a. Disminuir la cantidad de lubricante que se utiliza, ya que la mayor parte de las veces se tiende a sobrelubricar los mecanismos, produciendo un incremento de costos por desperdicio de lubricante.
- b. Readequar los intervalos de lubricación por medio del calculo teórico, teniendo presente el desempeño del lubricante y la forma de operación de la máquina, siempre sin descuidar el utilizar la cantidad adecuada de lubricante.
- c. Reducir las horas-hombre necesarias para realizar la lubricación por medio de una rutina de lubricación eficiente, con la consiguiente reducción de costos que esto implica, tanto directamente, como indirectamente al reducir el porcentaje de error humano, que puede provocar el fallo de un componente por falta de lubricación.
- d. En el caso de que sea necesario parar la máquina para lubricar sus componentes, el hecho de utilizar un sistema centralizado automático, puede representar el no parar para lubricar, trayendo esto consigo un aumento en la producción.

Todas estas formas de mejorar, pueden ser aplicadas por medio de la utilización de un sistema centralizado de lubricación, ya sea manual o automático. Estos sistemas ya están siendo utilizados ampliamente a nivel mundial, con el objetivo de hacer más eficiente la lubricación, con todas las mejoras que esto implica. Así se busca mejorar la eficiencia de la lubricación, obteniendo el mayor rendimiento de la maquinaria y ayudando en la mejora de la eficiencia productiva de la misma.

1. LUBRICACIÓN

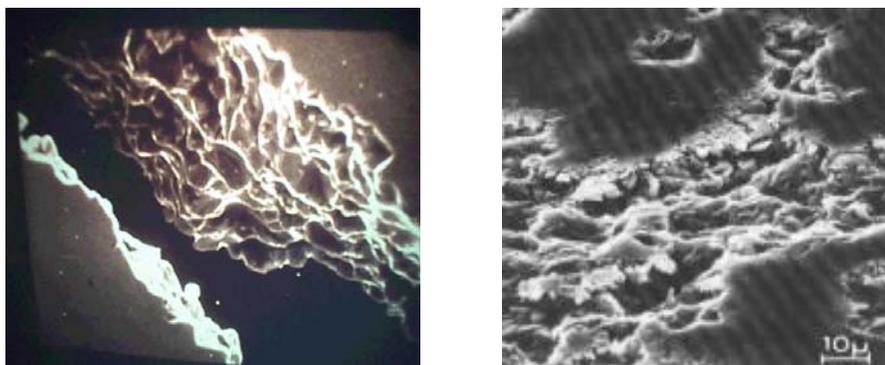
1.1. Concepto

Es necesario conocer cuáles son las condiciones que rigen la interacción de las superficies a un nivel microscópico, para poder comprender adecuadamente cuál es el papel de la lubricación en el movimiento de los cuerpos con respecto a otros. Cualquier cuerpo sólido, no importando de qué material esté compuesto, presenta una superficie que a primera vista puede parecer uniforme. Sin embargo al observar esta superficie con más detenimiento, llegando incluso a observarla por medio de un microscopio (ya sea normal o electrónico), se llega a apreciar que distan mucho de ser uniformes. En realidad, las superficies sólidas presentan un acabado bastante irregular, con crestas que sobresalen del material y depresiones por entre estas crestas. A estas crestas y depresiones, también se les conoce como picos y valles respectivamente.

Enfocándonos un poco más en la superficies de los componentes comúnmente utilizados en maquinaria, estas irregularidades en la superficie son provocadas en su mayoría por los procesos de manufactura que dan el acabado a las piezas. Una pieza que se somete incluso al proceso de pulido, siempre presentará al nivel microscópico irregularidades.

Recuérdese que aún en el proceso de pulido más riguroso, se utilizan ya sea pastas abrasivas o materiales abrasivos cuya función es producir un desgaste controlado de la superficie que se está puliendo. Los procesos de corte más estrictos, que aunque poseen límites de tolerancia que si bien pueden llegar a ser de micrones, siempre provocan que las superficies queden irregulares.

Figura 1. Microfotografías de superficies metálicas pulidas

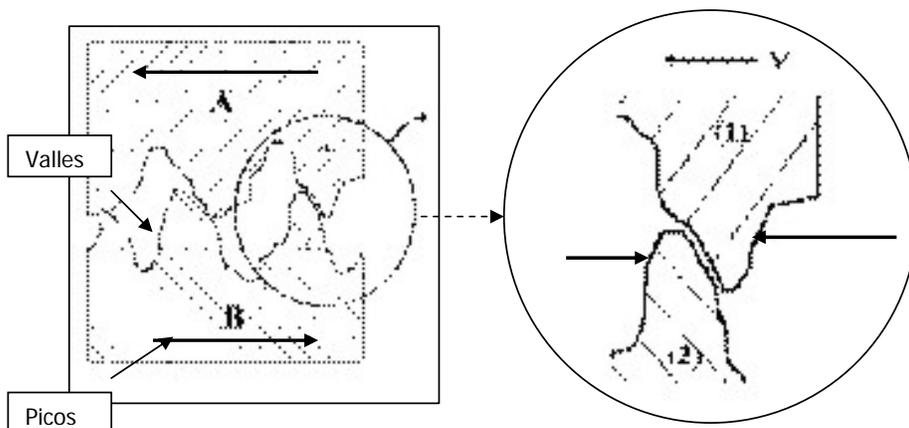


Teniendo en cuenta esta realidad inherente a todas las superficies, se analizará un poco qué sucede si dos superficies se encuentran en contacto y que son sometidas a un movimiento relativo entre ellas.

En primer lugar al estar las superficies estáticas, por efectos de la presión que las une (la cual puede ser provocada por el mismo peso de los cuerpos) se provoca adherencia de ambas superficies a nivel microscópico.

En cuanto se inicia el movimiento, estas adherencias se rompen, y las irregularidades de ambas superficies empiezan a chocar unas con otras. Cuando el movimiento se hace continuo, estas irregularidades siguen chocando unas con otras provocando que se libere energía, se dificulte el movimiento y además, partículas de las superficies se desprendan.

Figura 2. Superficies en movimiento cuyas irregularidades chocan unas con otras. La dirección del movimiento se indica mediante las flechas continuas



Al fenómeno anteriormente descrito, se le conoce como FRICCIÓN, y puede definirse como “la resistencia al movimiento relativo entre dos cuerpos en contacto” .

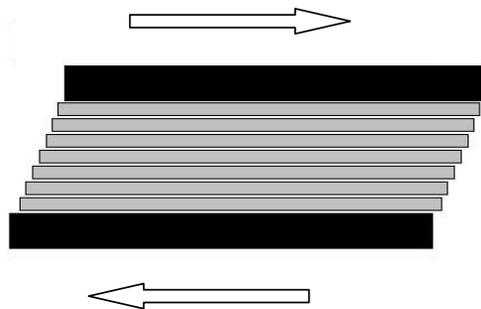
Como puede verse, la fricción tiene varias consecuencias: provoca liberación de energía, la cual se manifiesta en forma de calor; el desprendimiento de partículas es lo que se conoce como desgaste; y la magnitud de la fuerza de oposición al movimiento es lo que se conoce como la fuerza de fricción. Para la mayoría de superficies que el hombre necesita que interactúen en forma de piezas mecánicas en un sistema, todas estas consecuencias de la fricción son generalmente indeseables, y de alguna forma deben tratar de minimizarse.

Para reducir la fricción puede tratar de pulirse las superficies, de tal modo que las irregularidades sean lo más pequeñas posibles, aunque siempre existirán. Otra forma de reducir la fricción consiste en separar de alguna forma las superficies, de manera que las irregularidades que presentan no choquen unas con otras. Sin embargo para que las superficies sigan interactuando aún estando separadas, es necesario introducir entre las mismas algún elemento que aunque las separe sea capaz de permitirles interactuar. Al elemento que se introduce entre las superficies se le conoce normalmente como lubricante, y el hecho de utilizarlo se conoce como lubricación.

También existe la fricción fluida, que es la que se debe a la resistencia al corte que poseen los fluidos. Cuando una capa de lubricante es introducida entre dos superficies y las separa, una capa de moléculas de lubricante se adhiere a la superficie. Así mismo, otra capa de moléculas está adherida a la anterior y así sucesivamente hasta llegar a la otra superficie.

Puede imaginarse la película de lubricante como una sucesión de capas, de tal forma que cuando las superficies se ponen en movimiento, estas capas se encuentran en movimiento relativo unas con otras debido a la acción de cizallamiento entre ellas. Esta acción de cizallamiento debe romper las uniones moleculares entre las capas que se deslizan unas sobre otras, provocando que exista una fuerza que se opone al movimiento de las mismas. Mientras mayor sea la viscosidad del fluido, mayor será la fuerza de unión entre las capas, y por consiguiente mayor la fricción fluida.

Figura 3. Esquema de movimiento de las capas de un fluido entre dos superficies en movimiento



1.2. Razones para lubricar

Como se ha visto, las consecuencias de la fricción son generalmente indeseables dentro de un mecanismo mecánico.

Provocan ante todo desgaste, el cual puede definirse como “el deterioro sufrido por las superficies a causa de la intensidad de la interacción de sus rugosidades superficiales”. Este deterioro debe ser evitado a toda costa si se quiere que los mecanismos permanezcan trabajando el mayor tiempo posible.

La energía que se libera en forma de calor, puede llegar a ser tal que se alcance la temperatura de fusión del material del que se encuentra hecho el mecanismo. Esta energía también se libera en forma de sonido, el cual puede ser indeseable en ciertos mecanismos. La fuerza de fricción, al oponerse al movimiento debe ser vencida para poder efectuar el movimiento, así que mientras mayor sea esta fuerza, mayor será la fuerza necesaria para poder conseguir que el movimiento se realice. Esto implica una mayor cantidad de energía que debe provenir del sistema motriz que impulse el mecanismo, que a su vez necesitará consumir más energía, ya sea eléctrica, térmica, hidráulica, neumática, etc. Generalmente, uno de los mayores costos en que se incurre por tener una máquina operando, es el costo de la energía que lo impulsa, así que mientras menos energía se consuma, la operación de la máquina será menos costosa.

En la práctica, usualmente un mecanismo que no posee ningún tipo de lubricación, debido a las consecuencias de la fricción falla catastróficamente en muy poco tiempo.

1.3. Funciones de un lubricante

Básicamente las funciones que debe cumplir un lubricante, son:

1. Reducir la fricción, al separar las superficies. Esta es quizás la más importante de todas, dadas las implicaciones que anteriormente se mencionan que tiene la fricción.
2. Reducir el desgaste, al evitar que las irregularidades de las superficies choquen unas con otras.
3. Disminuir la temperatura de operación de los mecanismos, al reducir la energía que se libera por la fricción y al mismo tiempo absorbiendo esa energía y trasladándola hacia otra parte.
4. En algunos casos, formar un sello que evita el ingreso de impurezas entre las superficies.
5. Otra de las funciones importantes de un lubricante es impedir la corrosión, al evitar el contacto de las superficies con el medio ambiente.

1.4. Periodicidad de la lubricación

Al igual que otras sustancias, los lubricantes poseen cierta facilidad para degradarse. Esta degradación se presenta primero a nivel químico, hasta llegar a convertirse en una degradación física del lubricante. Un ejemplo de esto es el nivel de acidez de un lubricante.

Todos los lubricantes poseen un nivel de acidez que va aumentando en proporción al grado de oxidación que van teniendo a lo largo de su vida útil. Esto se debe a la absorción de átomos de oxígeno presentes en el ambiente por parte de las moléculas de lubricante.

Conforme el grado de oxidación aumenta, el lubricante puede llegar a sufrir un cambio de viscosidad, lo cual es una característica física del mismo muy importante, ya que de ella depende mucho el espesor de la película que un lubricante puede formar.

Las películas lubricantes absorben parte de la energía que se genera debido a la fricción. Este proceso hace que la película se caliente lo cual no solo hace variar la viscosidad de un lubricante, sino que también aumenta la facilidad con que el mismo se oxida. Eventualmente, llegará un momento en que el lubricante ya se ha oxidado tanto que no es capaz de seguir cumpliendo sus funciones, y será necesario reemplazarlo.

No importando cuáles sean las condiciones del medio ambiente circundante al componente lubricado, el anterior sería un motivo de degradación inherente a la forma de trabajar de los lubricantes. Si se toma en cuenta que un componente puede hallarse en un área en la que se le transmite calor, ya sea por convección, radiación o inducción, es mayor la velocidad a que el lubricante se oxidará.

Además, debe pensarse que muchos componentes lubricados están sometidos a diferentes tipos de contaminación, por ejemplo ingreso de polvo al interior de los mismos, lavado con agua, ataques químicos, o contaminación con fluidos de proceso.

Todas estas circunstancias provocan que el lubricante se degrade y se haga necesario removerlo y sustituirlo por lubricante nuevo. Esto puede realizarse ya sea por medio de relubricación, o por medio de recambio de lubricante.

El tiempo que transcurre entre la aplicación de lubricante nuevo y la relubricación o recambio es conocido como frecuencia de lubricación, y varía dependiendo de varios factores. Estos factores son básicamente los mismos que provocan la degradación del lubricante, como: la temperatura de trabajo, la velocidad de los componentes, la magnitud y tipo de carga a la que son sometidos dichos componentes, y la posibilidad de contaminación que exista.

En la práctica también se toman en cuenta otros factores como tipo de componente por lubricar, recomendación del fabricante, accesibilidad al punto, experiencia, costo del lubricante, costo de mano de obra y disponibilidad de la misma.

Es usual ajustar la frecuencia de relubricación a una rutina de mantenimiento preventivo y un programa de producción. Cuando esto se hace, el encargado de establecer la frecuencia debe tratar de evaluar y decidir si desea por ejemplo extender los intervalos y aplicar mayor cantidad de lubricante aunque se den excesos, o acortar los intervalos y reducir la cantidad pero verse en la necesidad de detener o disminuir el ritmo de la producción.

1.5. Lubricación básica de los mecanismos comúnmente utilizados en máquinas de corte de rollos de papel higiénico

1.5.1. Lubricación de cojinetes lisos

La lubricación de cojinetes lisos o bujes como se les conoce más comúnmente, puede ser realizada por medio de aceite o grasa, aplicándolos en alguna de las distintas formas en que cada uno de estos tipos de lubricante puede aplicarse. Dependerá de las condiciones de trabajo del buje la selección del lubricante y el método de aplicación del mismo.

Lo usual en máquinas cortadoras de papel que poseen bujes trabajando a temperaturas menores de 70°C soportando medianas y bajas cargas, y cuyos ejes giran a velocidades menores a 1200 rpm, es lubricar con grasa cuyo aceite base posea una viscosidad intermedia, alrededor de 100 a 220 centistokes, con espesantes a base de litio, con una consistencia NLGI 2. Estas características las poseen la mayoría de grasas industriales que son conocidas como multipropósito o de uso general. Generalmente ésta se aplica a los bujes con una engrasadora (que puede ser manual o neumática), por medio de un niple de engrase directo, conocido comúnmente como grasera.

1.5.2. Lubricación de rodamientos

Al igual que para los bujes, los rodamientos pueden ser lubricados con aceite o grasa dependiendo de las condiciones de trabajo a que son sometidos. Nuevamente, para el caso de las cortadoras de papel higiénico, las condiciones son muy similares a las de los bujes desde el punto de vista de lubricación, por lo que se suelen lubricar con la misma grasa que se aplica a bujes.

Cabe hacer mención que los rodamientos de los motores eléctricos si poseen características de operación que difieren un poco, básicamente en cuanto a velocidad y carga, por lo que algunos fabricantes de motores eléctricos recomiendan utilizar grasas con aceites base de menor viscosidad.

Sin embargo algunos motores eléctricos, sobre todo los de mediana y baja capacidad, utilizan rodamientos lubricados de fábrica para la vida útil del mismo, comúnmente llamados “sellados”, que no necesitan relubricarse y simplemente son reemplazados al llegar al final de su vida útil o cuando el mantenimiento así lo requiera. Este tipo de rodamientos son los instalados en los motores de las máquinas cortadoras de papel.

1.5.3. Lubricación de engranajes

Los juegos de engranajes pueden ser de varios tipos desde el punto de vista de diseño: rectos, helicoidales, doble helicoidales, cónicos, o de tornillo sinfín. Desde el punto de vista de lubricación, tal vez las distinciones más importantes que deben hacerse es si son del tipo de tornillo sinfín (ya que el tipo de contacto de estos engranajes es más de deslizamiento que de rodadura, precisan utilizar lubricantes con características que difieren un poco a los demás tipos de engranajes), o si son del tipo llamado abierto (o sea que no están encerrados en ningún tipo de caja o depósito).

De no encontrarse dentro de estos dos grandes grupos, los engranajes normalmente son lubricados por medio de aceites diseñados para el efecto, ya sea con aditivos de extrema presión o no, de base sintética o mineral, pudiendo utilizarse viscosidades que van desde los 68 a los 680 centistokes.

Para el caso de los engranajes tipo sinfín, es usual utilizar aceites del tipo compuesto, sin aditivos de extrema presión, en viscosidades entre los 460 y 1000 centistokes.

Normalmente los fabricantes de cajas de engranes indican qué viscosidad y tipo de aceite deben aplicarse a sus productos, basados en la temperatura ambiente del área de trabajo de la caja, así como la cantidad por utilizar y tiempo de recambio necesarios.

Cuando se tienen engranajes de tipo abierto, es común lubricarlos con grasa, debiendo tener ésta la suficiente adherencia para no dejar desprotegidos los dientes. Debe hacerse notar que también existen engranajes fabricados de materiales poliméricos y otros, que usualmente no requieren lubricación alguna.

En el caso de las máquinas cortadoras de papel higiénico se tienen cajas de pequeña y mediana capacidad, tanto de engranajes de tipo sinfín como de los otros tipos “comunes”.

Estas cajas son llenadas con el aceite correspondiente hasta el nivel indicado según el fabricante, verificándose el nivel cada semana y se realiza el recambio del mismo de acuerdo al programa de mantenimiento que se tiene, lo cual es aproximadamente cada seis meses.

1.5.4. Lubricación de cadenas

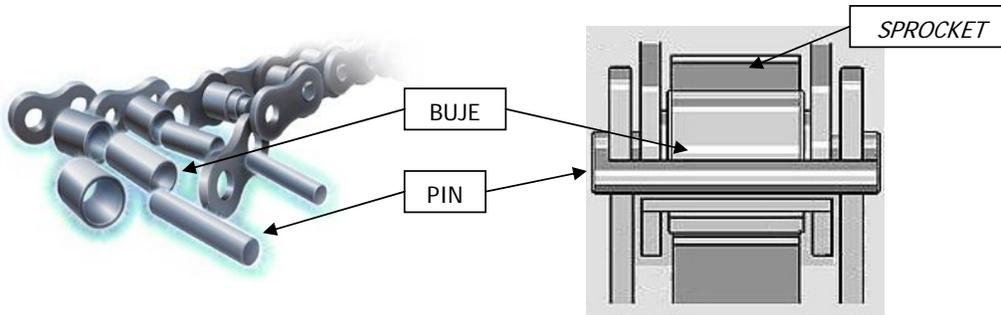
El uso de cadenas como elemento transmisor de potencia y movimiento es muy generalizado en todas las industrias. De esta cuenta la gran variedad de diseños de cadenas que existen, así como gran variedad de tamaños y materiales de construcción.

Existen de esta manera cadenas que no necesitan lubricación, otras que son lubricadas al momento del montaje y no necesitan relubricarse, y cadenas que deben relubricarse periódicamente con el fin de aumentar su vida útil. Uno de los errores mayormente difundidos en la industria es lubricar las cadenas con grasa, aplicándola en la parte externa. Sin embargo, pueden visualizar las cadenas como una sucesión de bujes y pines interconectados. Los bujes reciben movimiento respecto al pin en el momento en que son tocados por los *sprockets*. Es común pensar que la grasa protege los *sprockets* del desgaste, aunque si los bujes están libres para girar sobre el pin, no hay razón alguna para que desgasten el *sprocket*. Además, si se minimiza la fricción entre los bujes y pines, la cadena no se estirará por desgaste o perderá paso.

Es por esta razón que para poder llegar a lubricar la parte interna de los bujes, que es en donde se da el mayor desgaste en las cadenas, es necesario aplicar un aceite que logre penetrar en esta parte y que logre permanecer allí realizando su función.

Cuando las temperaturas de trabajo se encuentran a menos de 80°C, es usual aplicar aceites de baja viscosidad con buenas características de penetración, por medio de la aplicación con brocha, *sprays* o haciendo pasar la cadena por un depósito de aceite en el cual se sumerge una parte de la cadena durante su recorrido para que el aceite penetre entre los bujes y pines. En ocasiones la aplicación no puede realizarse de esta manera debido a la velocidad de la cadena, temperatura de trabajo o características especiales del proceso (manchado del producto final, paro de la maquinaria u otro), lo que da lugar a buscar otras opciones por medio de las cuales aplicar el lubricante a las cadenas.

Figura 4. Partes que deben lubricarse principalmente en una cadena



En el caso de las máquinas cortadoras de papel higiénico, la lubricación se realiza actualmente por medio de la aplicación de aceite hidráulico por medio de brochas cada tres días.

2. SISTEMAS DE LUBRICACIÓN CENTRALIZADOS

2.1. Concepto

Debe antes que nada, decirse que un sistema de lubricación es el método por el cual se hace llegar el lubricante hacia las superficies que se desea lubricar. De esto puede verse que puede existir una gran cantidad de sistemas de lubricación. Sin embargo, ya que se desea referir a los sistemas de lubricación centralizados, se dirá que son aquellos en los cuales desde un solo punto es posible hacer llegar lubricante a varios componentes diferentes. Para poder realizar esto, usualmente existe algún depósito de lubricante desde el cual por algún medio es impulsado el mismo a través de tuberías o conductos, medido y entregado en los componentes.

Es importante hacer notar que es posible tener un sistema centralizado sumamente simple, como por ejemplo un bloque de graseras conectadas con tuberías a diferentes componentes, en las cuales es aplicada cierta cantidad de grasa por una persona utilizando una engrasadora manual. En este caso, el depósito y el sistema de bombeo de lubricante son la engrasadora, el lubricante es medido a través de la cantidad de bombazos que son aplicados por la persona y es entregado a los componentes a través de las tuberías existentes. Esto cumpliría con ser un sistema centralizado.

En ocasiones, lo que se tiene es una bomba eléctrica que dispensa lubricante a un grupo de inyectores que entregan una cantidad específica de lubricante a cada uno de los diferentes puntos que pertenecen al sistema. Este también sería un sistema centralizado.

Por último, debe hacerse la separación entre sistemas centralizados de accionamiento manual y sistemas centralizados automáticos. En los primeros, normalmente es una persona la que decide en qué momento se realiza la lubricación, y en los segundos, existe algún dispositivo que se encarga de iniciar y finalizar el ciclo del sistema. Estos dispositivos pueden ser eléctricos, electrónicos o mecánicos.

Existen en la actualidad una gran cantidad de sistemas centralizados, ya sea manuales o automáticos. Afortunadamente es posible, gracias a las características de funcionamiento de cada uno, agruparlos en diferentes tipos.

A continuación se dará una descripción de los principales sistemas centralizados que pueden encontrarse en el mercado.

2.2. Sistema paralelo de una línea

2.2.1. Componentes básicos

Los componentes básicos que conforman un sistema de lubricación centralizado paralelo de una línea son:

Bombas

Es el dispositivo por medio del cual el lubricante se envía desde el depósito principal hacia los puntos de lubricación. Además, proporciona al lubricante la presión necesaria para hacer funcionar los inyectores. Debido a que normalmente es necesario alcanzar presiones relativamente altas para accionar los mismos (entre 500 y 3000 psi), la mayoría de estas bombas son de desplazamiento positivo.

Son varios los tipos de bomba que pueden ser utilizados en un sistema de lubricación centralizado del tipo paralelo de una línea, y se pueden clasificar básicamente en:

Bombas neumáticas: son aquellas que utilizan la energía almacenada en el aire comprimido para funcionar. Comúnmente constan de un cilindro neumático acoplado a un mecanismo reciprocante de bombeo que es el que hace contacto con el lubricante y le aplica presión al mismo. Las bombas neumáticas comúnmente se dividen en:

Bombas de simple acción. Tienen la característica de alcanzar la presión de trabajo del sistema y desplazar la cantidad de lubricante requerida con un solo movimiento del cilindro neumático. Este tipo de bombas normalmente se utiliza en sistemas pequeños y medianos.

Bombas reciprocantes. Poseen la capacidad de ir acumulando presión en el sistema, a medida que transcurre el tiempo que están en funcionamiento. La cantidad de lubricante que dispensan es la misma en cada movimiento del cilindro neumático. Normalmente se utilizan en sistemas de tamaño mediano y grande.

Bombas hidráulicas: son las que aprovechan un fluido hidráulico como medio de impulso. La diferencia básica entre estas bombas y las neumáticas consiste en que utilizan una bomba hidráulica en lugar del cilindro neumático, el resto del mecanismo de bombeo es similar. También existen de simple acción y reciprocantes.

Bombas eléctricas: este tipo de bombas son accionadas por un motor eléctrico, el cual generalmente está acoplado a algún tipo de pistón recíprocante que es el encargado de dar presión y movimiento al lubricante. Existen en variedad de voltajes, tanto monofásicas como trifásicas, así como de corriente alterna o directa.

Bombas manuales: como su nombre lo indica, son accionadas a mano, y normalmente son para sistemas de pequeña capacidad. Su principio de bombeo es básicamente similar al de las otras bombas, un pistón recíprocante que bombea el lubricante.

Sistemas de control

Como su nombre lo indica, cuando un sistema de lubricación centralizado es automático, es necesario que de alguna forma se accione y se detenga el sistema a intervalos constantes sin que haya necesidad de la intervención de un operador.

Usualmente, esto se logra por medio de la instalación de un controlador automático que puede ser de tipo mecánico, eléctrico, neumático, hidráulico, o electrónico. Son varios los elementos que componen el controlador del sistema. Se irá describiendo cada uno de ellos con base en la función que deben realizar.

El primer paso dentro de un ciclo de lubricación automático es el arranque, en el cual es accionada la bomba del sistema con base en una señal. Dependiendo del diseño del sistema, esta señal puede generarse a intervalos de tiempo, o debido a movimientos de un mecanismo, por ejemplo al pasar cierto eslabón de una cadena por un lugar específico.

Si es con base en intervalos de tiempo que se desea arrancar el sistema, es usual que se utilice un contador de tiempo para ello, el cual puede ser de tipo mecánico, eléctrico o electrónico. El intervalo de tiempo entre los arranques, conocido como tiempo de espera, se ajusta para cada contador dependiendo de su diseño y con base en el sistema en que se instala. Si la señal de arranque debe darse con base en movimientos de un mecanismo, puede utilizarse un contador de pulsos que recibirá a su vez señales de un sensor de pulsos que puede ser mecánico, electrónico, una fotocelda u otro.

Normalmente la señal de arranque es enviada a algún dispositivo que se encarga de darle energía a la bomba, como puede ser una válvula neumática, hidráulica, un arrancador eléctrico, etc.

Una vez que se ha dado la señal de arranque a la bomba, debe darse una señal de paro, la cual dependerá del diseño del sistema. Si se utiliza una bomba de simple efecto, normalmente se utilizará otro contador de tiempo ajustado a un intervalo muy corto, ya que este tipo de bomba levanta suficiente presión y envía suficiente caudal de lubricante para accionar los inyectores en un solo movimiento. A este tiempo se le conoce como tiempo de trabajo.

Si se utiliza una bomba eléctrica, dependiendo del diseño del sistema, también puede ser que se utilice un contador de tiempo para mantener encendida la bomba.

En el caso de las bombas reciprocantes, normalmente la señal de paro para la bomba proviene de un presostato, o *switch* de presión, el cual envía una señal cuando la presión a la cual se ha ajustado se alcanza. Este presostato se instala en la tubería principal de distribución del lubricante y normalmente la presión a la cual se ajusta depende de su ubicación en la misma, ya que debe garantizar que el inyector más alejado de la bomba alcance la presión necesaria para hacerlo ciclar, por lo que debe tenerse en cuenta la caída de presión que se tendrá entre el punto de ubicación del presostato y el inyector más alejado. Usualmente por facilidad de verificación e instalación, este presostato se instala al inicio de la línea. Como puede verse en este caso, la señal de paro para la bomba depende de la presión dentro del sistema, por lo que no existe un tiempo de trabajo fijo.

Es necesario dentro del sistema de control tener algunos parámetros que deben cumplirse, para poder establecer alarmas en caso de mal funcionamiento del sistema. Puede establecerse el tiempo normal que debe durar un ciclo de trabajo del sistema, añadirle un margen de error y establecer este como tiempo máximo de trabajo del sistema y monitorearlo instalando otro contador que se encarga de verificar el tiempo que dura la bomba funcionando. Se establece como alarma ya que si la bomba está funcionando por más tiempo que el establecido, puede haber algún problema. Este problema puede ser una fuga en la tubería principal, ya que al haber una fuga de cierto tamaño no se puede alcanzar la presión de trabajo del sistema y de seguir funcionando la bomba se estaría derramando el lubricante.

Otro problema puede ser falta de lubricante en el depósito, falta de presión neumática o hidráulica para accionar la bomba, etc. Además, dependiendo del diseño puede contarse con otros elementos para el control y señales de alarma en el sistema, como sensores de flujo de lubricante, sensores de temperatura, sensores de ciclo para los inyectores, manómetros y otros.

Depósitos

La función del depósito de lubricante en un sistema de lubricación centralizado del tipo paralelo de una línea, es alimentar la bomba para que pueda surtir de lubricante a todos los puntos del sistema a través de los inyectores.

Normalmente se tienen depósitos con capacidades suficientes para surtir lubricante durante un intervalo de tiempo que sea conveniente. Para algunas bombas, los fabricantes integran los depósitos en el cuerpo de las mismas, normalmente con capacidades ya establecidas y el diseñador del sistema debe escoger la capacidad que más se ajusta a sus necesidades. Por otro lado, existen otro tipo de bombas que utilizan como depósito de alimentación los mismos contenedores de lubricante en los que normalmente éste se adquiere, de esta forma el diseñador posee mayor libertad en cuanto al intervalo de tiempo en que desea que se rellene el depósito.

Para algunos tipos de bombas, sobre todo las de gran capacidad, solamente se fabrican para utilizar como depósito un tamaño de contenedor de lubricante, usualmente la presentación de barril de 55 galones o 400 libras. Existen además algunos pocos tipos de bombas que pueden utilizar un depósito diseñado específicamente por el usuario, no importando su capacidad, solamente respetando ciertas dimensiones mínimas. Por lo general, los fabricantes recomiendan que los depósitos tengan suficiente capacidad para doscientas horas de operación del sistema.

En cuanto a los materiales de construcción de los depósitos, éstos pueden ser cualesquiera, siempre que cumplan con ser impermeables al lubricante y no poseer ningún tipo de reacción química al contacto con el lubricante que se desea suministrar. En la práctica, suelen ser de acero o *plexiglass*.

Válvulas de alivio

Las válvulas de alivio funcionan básicamente como una válvula de tres vías, permitiendo el paso de lubricante desde la bomba hacia los inyectores, y luego desde los inyectores hacia el depósito de lubricante. Debido a que es necesario suministrar lubricante para generar suficiente presión para accionar los inyectores, la tubería que va desde la bomba hacia los inyectores también se expande, absorbiendo cierto volumen de lubricante.

Este lubricante no se entrega a los puntos, y se hace necesario liberar esta presión del sistema para que los inyectores estén listos para un nuevo ciclo de lubricación. Esto provoca que el lubricante que ocupó el espacio correspondiente a la expansión de la tubería regrese y sea necesario devolverlo al depósito.

Existen diferentes tipos de válvulas de alivio que se utilizan en estos sistemas. En algunos casos, la función de la válvula de alivio es realizada dentro de la misma bomba, sobre todo en las bombas del tipo de simple acción, ya que al retornar el cilindro que impulsa el lubricante a su posición original, deja abierto un paso entre la tubería y el depósito de lubricante. En otros casos, la válvula es un dispositivo separado completamente, funcionando por medios neumáticos, hidráulicos o eléctricos. Para estos casos, la válvula normalmente posee una tubería de retorno al depósito totalmente separada de la tubería principal de abastecimiento.

Inyectores

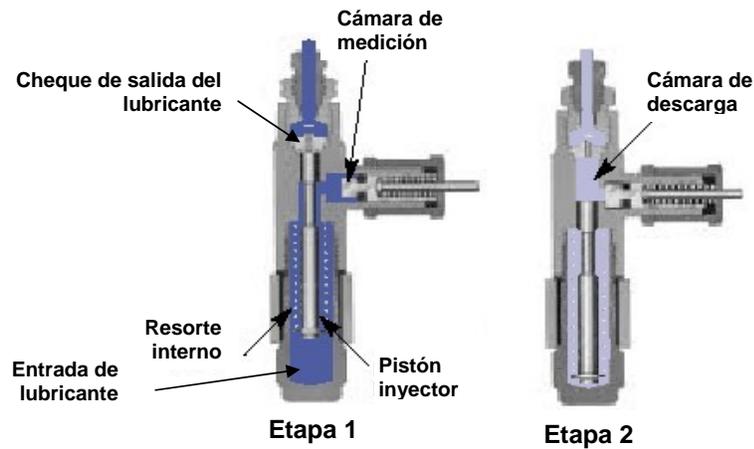
Los dispositivos encargados de medir la cantidad de lubricante que se entrega a los puntos en un sistema de lubricación centralizado paralelo de una línea son conocidos comúnmente como inyectores, aunque la presión a la que dispensan el lubricante es muy baja.

Los inyectores para este tipo de sistema, pueden ser divididos en dos grandes grupos: inyectores para aceite e inyectores para grasa. Sin embargo, la diferencia entre unos y otros se centra en la presión de trabajo y en algunos casos los sellos que poseen. El principio de trabajo y la forma de funcionamiento es la misma para ambos tipos.

Para cada uno de estos dos grupos, existe una subdivisión en los inyectores basada en el volumen de lubricante que son capaces de entregar, de esta forma se tienen inyectores de baja, mediana y alta capacidad. Los de baja capacidad son capaces de entregar volúmenes de lubricante entre 0.001 y 0.008 pulgadas cúbicas, los de mediana capacidad entre 0.008 y 0.080 pulgadas cúbicas, y los de gran capacidad entre 0.050 y 0.5 pulgadas cúbicas. Todos los inyectores poseen un mecanismo de regulación, con el cual se ajusta la cantidad de lubricante que dispensan dentro del rango para el cual están capacitados.

El principio de funcionamiento básico de estos inyectores está basado en la presión. Al inicio del ciclo, los inyectores reciben lubricante y un resorte interno comienza a ser comprimido hasta que se alcanza la presión de trabajo del inyector, moviendo el pistón inyector de forma que se deja libre el paso de lubricante hacia la cámara de medición. Esta presión varía dependiendo del tipo de inyector que sea. Al mismo tiempo que el lubricante llena la cámara de medición, fuerza al pistón inyector a empujar el lubricante que se encontraba en la cámara de descarga, producto de un ciclo anterior. Este momento es el que puede verse en la etapa 1 de la figura 5.

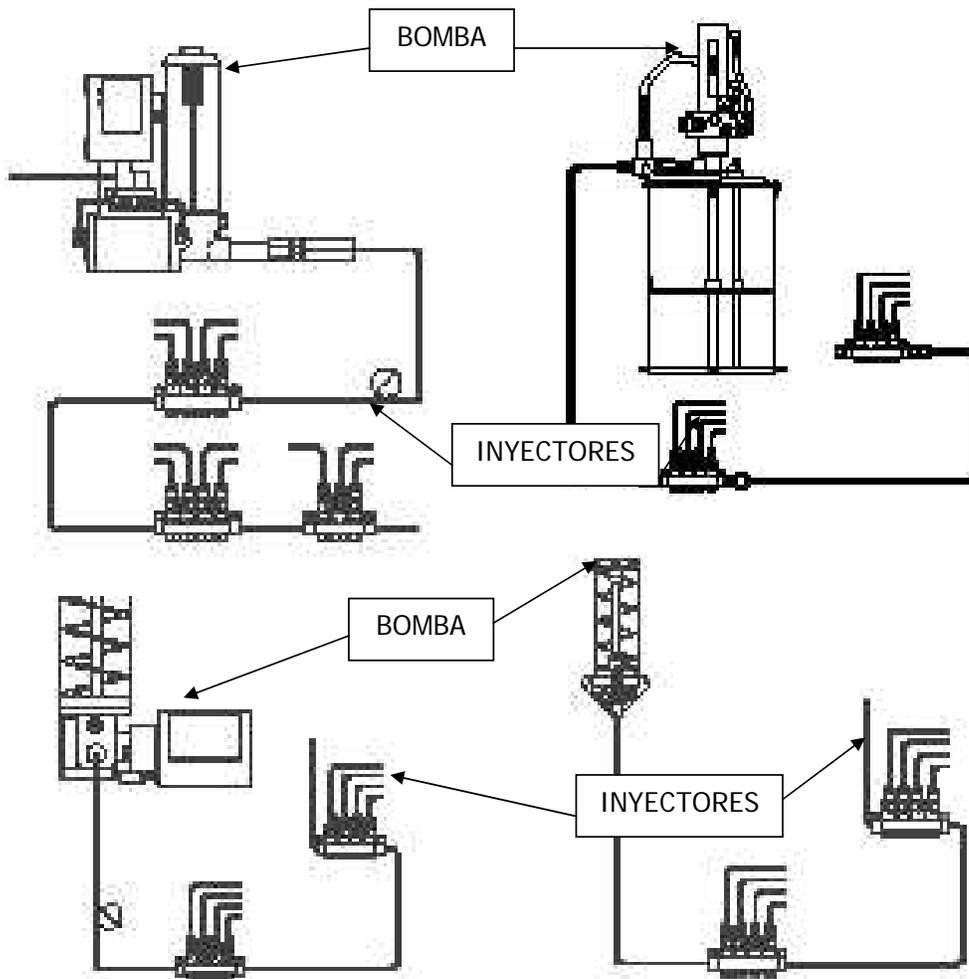
Figura 5. Etapas de funcionamiento de un inyector paralelo de una línea



Cuando se ha vaciado todo el lubricante de la cámara de descarga, y por consiguiente la cámara de medición está llena, el movimiento se detiene y no entra más lubricante al inyector. Cuando esto sucede en todos los inyectores del sistema, la tubería principal de distribución del lubricante empieza a acumular presión hasta el valor que se ha fijado en el *switch* de presión, en ese momento la bomba se detiene y la válvula de alivio abre el paso de retorno del lubricante al depósito. En este momento, que se observa como la etapa 2 en la figura 5, el pistón y el resorte dentro del inyector vuelven a su posición original, dejando libre el paso de lubricante desde la cámara de medición hacia la cámara de descarga, el cheque de salida de lubricante cierra el paso desde la línea de entrega al punto hacia el inyector, con lo cual el inyector queda listo para un nuevo ciclo.

A continuación, pueden verse diferentes configuraciones que pueden adoptar los sistemas de lubricación centralizados del tipo paralelo de una línea.

Figura 6: Diferentes configuraciones de sistemas de lubricación centralizados del tipo paralelo de una línea



2.2.2. Funcionamiento

A continuación se describe el funcionamiento básico de un sistema de lubricación centralizado paralelo de una línea.

1. Al cumplirse la condición para el inicio del ciclo, ya sea por tiempo de espera o por conteo de movimientos de un elemento de la máquina, el controlador envía la señal de arranque a la bomba a través del dispositivo indicado dependiendo del tipo de bomba (válvula neumática, hidráulica, arrancador eléctrico, etc.).
2. El lubricante se bombea por la tubería principal hacia los inyectores.
3. Al alcanzarse la presión de trabajo mínima del inyector, el lubricante penetra en la cámara de medición, obligando al lubricante alojado en la cámara de descarga a salir hacia el punto a lubricar.
4. Después de que el lubricante penetra al inyector, comienza a acumularse presión en la tubería principal.

5. En este punto pueden ocurrir dos cosas, dependiendo del diseño del sistema:

a. Al llegar la presión en la tubería principal al valor que al que se ajustó el *switch* de presión, éste envía una señal al controlador y la bomba es detenida.

b. Se alcanza el tiempo de trabajo ajustado en el controlador y la bomba es detenida.

6. La válvula de alivio abre el paso desde la tubería principal hacia el depósito, permitiendo que se alivie la presión contenida en la tubería.

7. Los inyectores regresan a su posición original, en la cual existe un paso de lubricante desde la cámara de medición hacia la cámara de descarga, quedando listos para un nuevo ciclo.

2.2.3. Ventajas y desventajas

Todos los sistemas de lubricación centralizados automáticos poseen características propias, que pueden ser consideradas como ventajas o desventajas dependiendo de la aplicación para la cual serán utilizados.

Algunas de las que pueden ser consideradas como ventajas en un sistema paralelo de una línea son:

1. Es relativamente de bajo costo, en comparación con otros sistemas centralizados, solamente hay que instalar una tubería principal, el mantenimiento es poco costoso.
2. Son de fácil diseño, no hay que hacer complicados cálculos de relaciones de tamaños entre puntos, para poder ajustar las cantidades necesarias.
3. Es posible agregar puntos de entrega al sistema solamente agregando más inyectores, siempre y cuando se respeten algunos límites, o se ajusten algunos valores al sistema de control.
4. Cada inyector posee un ajuste propio, lo que permite que cada punto reciba la cantidad exacta de lubricante que necesita. Es posible incluso tener puntos de tamaños bastante diferentes por medio de la instalación de inyectores de diferentes capacidades en la misma línea principal.
5. Existe un indicador visual en cada inyector, que permite observar si éste está ciclando adecuadamente, sin necesidad de desconectar tuberías para hacer chequeos. Este indicador puede ser conectado a un sensor de pulsos para llevar otro tipo de control en los puntos.

6. Si uno de los inyectores falla o la tubería de entrega al punto se tapa, no afecta a los demás puntos del sistema ya que son independientes. En otros sistemas al haber un problema en un punto, afecta a todo el sistema.

7. Es posible utilizar este tipo de sistema con aceite o con grasa.

Algunas de las que normalmente son consideradas como desventajas en un sistema paralelo de una línea son:

1. Contiene orificios pequeños, los cuales son susceptibles de taponarse fácilmente en caso de contaminación en el sistema.

2. Posee resortes y empaquetaduras que deben reemplazarse periódicamente, y que pueden presentar fallas abruptas.

3. Dependiendo del diseño del sistema, puede poseer tuberías de entrega a los puntos de diámetro muy pequeño, lo que las hace susceptibles de taponarse por partículas extrañas, o debido a un golpe relativamente ligero la tubería puede taparse.

4. Dependiendo de la temperatura ambiente y el diseño del sistema, puede tener limitantes en cuanto a la viscosidad del aceite o el grado de consistencia de la grasa que se emplea.

2.3. Otros sistemas

Además del sistema paralelo de una línea los principales tipos de sistemas que pueden encontrarse son los siguientes:

1. Progresivo de una línea, el cual se diferencia básicamente del paralelo de una línea, en el tipo de dosificadores de lubricante que utiliza. Se le llama progresivo debido a que la forma en que los dosificadores entregan el lubricante es secuencial o progresiva, ya que primero entregan lubricante por una de sus salidas, luego por la siguiente dependiendo del movimiento interno de unos pistones y así sucesivamente.
2. Doble línea, en el cual se tienen dos líneas principales de alimentación a los dosificadores y una válvula de cuatro vías, que se encarga de alternar la descarga de la bomba hacia cada una de ellas. La línea que no está conduciendo lubricante hacia los dosificadores, hace la función de tubería de retorno.
3. Lubricadores por goteo, los cuales se utilizan para aceite y consisten generalmente en pequeñas bombas individuales para cada punto, compartiendo un depósito de alimentación común. Generalmente son accionadas por medio de un sistema de levas que pueden recibir movimiento manualmente o por la misma máquina que va a ser lubricada. Usualmente poseen una mirilla por la cual puede verse la cantidad de gotas que salen de cada bomba y algún sistema para variar el volumen que se entrega al punto.

4. Sistemas de lubricación directa al punto, usualmente utilizados en cadenas y que permiten aplicar lubricante en un punto aunque este se encuentre en movimiento. Pueden ser de aceite o de grasa, y normalmente poseen algún dispositivo de sincronización para determinar en qué momento debe aplicarse el lubricante. En ocasiones, las boquillas de aplicación de lubricante se mueven en conjunto con la cadena durante el ciclo de lubricación.

5. Sistemas de niebla, generan una neblina de aceite dentro de una corriente de aire intermitente, que es transportada por tuberías de baja presión hacia los puntos, en los cuales se encuentran boquillas encargadas de aplicar el aceite, dependiendo del mecanismo que se quiera lubricar. Hay boquillas nebulizadoras para rodamientos, atomizadoras para engranajes, o condensadoras para cojinetes lisos.

6. Lubricadores neumáticos, que pueden ser encontrados casi en cualquier instalación neumática que posea algún tipo de cilindro o válvula de accionamiento. Funcionan básicamente con la corriente de aire a presión que pasa a través de la unidad de lubricación, la cual succiona aceite del depósito y lo transporta en forma de gotas muy pequeñas hacia los componentes por lubricar. Usualmente poseen un dispositivo para graduar la cantidad de aceite que es arrastrado por la corriente de aire.

3. PROCESO DE ELABORACIÓN DE PAPEL HIGIÉNICO

3.1. Proceso de fabricación de pasta de papel reciclado

3.1.1. Clasificación

Antes de comenzar con el proceso de reciclado, convirtiendo el papel usado en pasta de papel, y en función del tipo de papel que se va a producir, es necesario realizar una clasificación del papel recuperado según una lista de calidades que dependen del tipo de pasta empleada para la fabricación del papel original (mecánica, kraft, química, etc.) y la cantidad e intensidad de mancha que tiene el papel usado (impreso, mecanografiado, pintado, etc.). Usualmente se clasifican de la siguiente forma:

- a. Calidades ordinarias (grupo A): compuesta por papeles y cartones mezclados, recortes de cartón, recortes de cartón ondulado, embalajes de centros comerciales, revistas e impresos mezclados, periódicos e impresos mezclados.

- b. Calidades medias (grupo B): periódicos leídos, periódicos no vendidos, recortes de revistas u otros materiales similares, recortes de cartoncillo con una cara blanca, recortes de encuadernaciones sin encolar.

- c. Calidades superiores (grupo C): papel continuo de ordenador, papel de ofimática, cartoncillo blanco sin imprimir, recortes de papel blanco, papel para imprimir blanco.

- d. Calidades kraft (grupo D): sacos, cartón ondulado realizado con papel kraft, recortes de papel kraft.

La importancia de separar el papel según estas calidades radica en la necesidad de que la materia prima no contenga tipos de papel que no pueden reciclarse u otros materiales extraños que perjudican el proceso de reciclado.

De esta manera, existen una serie de productos realizados con papel que no son reciclables:

1. Papel de autocopiado
2. Etiquetas adhesivas
3. Papel térmico para fax
4. Pañales desechables, toallas, pañuelos
5. Vasos, platos, tazas desechables de papel
6. Papel encerado
7. Recipientes para almacenar alimentos

3.1.2. Triturado o desfibrado

Una vez separada la materia prima según las calidades descritas, se vierte el papel junto con agua en el pulper o desfibrador, donde se tritura para separar las fibras de celulosa.

El pulper es una pila circular con un disco ubicado en el fondo que lleva una serie de aletas que sobresalen y que al girar hace que el material se desmenuce y sea evacuado por una cámara de extracción.

Por si este proceso no llega a deshacer de forma idónea las fibras, la pasta es tratada en el despastillador. La pasta tiene que pasar por una serie de aberturas que contienen dientes en hileras circulares que se mueven de forma giratoria.

3.1.3. Depuración de la pasta

La pasta que se produce en el pulper tiene que ser depurada ya que puede contener una serie de materiales impropios que pueden perjudicar el proceso. Para la separación de estos contaminantes se utilizan los procesos de cribado y centrifugación, en los cuales los contaminantes son separados básicamente debido a su diferencia de peso con el resto del material que se desea procesar.

Teniendo en cuenta la procedencia de la materia prima, una de las impurezas más importantes de la pasta es la tinta que tiene que ser separada utilizando dos sistemas principalmente:

- a. Destinte por lavado: a la pasta se le añaden una serie de productos químicos que hacen que la tinta sea atraída por el agua. A continuación se somete la pasta a diferentes lavados que hacen que la tinta se retire de la pasta.

- b. Destinte por flotación: consiste en el sistema contrario ya que la adición de productos químicos hace que la tinta sea repelida por el agua. La pasta se somete a un proceso de aireación que permite que las burbujas de aire que se forman eleven a la superficie la tinta que permanece por flotación formando una espuma superficial que se retira por aspersion.

3.1.4. Blanqueo y mejora de la pasta

En algunos casos, y en función del grado de blancura que se quiere aportar al papel reciclado, la pasta reciclada se blanquea con cloro, hipoclorito o peróxido, o preferiblemente con compuestos oxigenados menos contaminantes.

También es habitual que una vez depurada la pasta sea tratada para mejorar la calidad de la misma. En estos casos se añade pasta virgen u otros productos como almidón o colorantes.

3.2. Fabricación del papel

3.2.1. Refinado y aditivación

Antes de que la pasta de papel alimente la denominada "máquina de papel" se procede a refinar la pasta de papel y a realizar la aditivación de la misma.

A través del refinado se modifican algunas de las propiedades físicas de las fibras de celulosa para darle las características necesarias para la fabricación del papel, permitiendo que las fibras sean más flexibles y aumentando su superficie. El tratamiento consiste en introducir la pasta de papel, junto con agua, en un refinador donde se cortan las fibras de celulosa por acción de diversas cuchillas que se mueven en círculo.

Por otra parte, la aditivación permite mejorar las características del papel elaborado, añadiendo una serie de sustancias tales como colas, caolín, talco, yeso, colorantes, etc. Cada sustancia produce una serie de resultados específicos:

- a. Colas: permite aumentar el grosor del papel, disminuir la porosidad y mejorar la blancura.
- b. Colorantes: se utilizan para conseguir determinados colores del papel.
- c. Almidón: da mayor rigidez y resistencia al papel.
- d. Caolín, talco, yeso: permiten mejorar las características de impresión, haciendo el papel más brillante, más opaco y más uniforme.

3.2.2. Alimentación de la máquina de papel

El procedimiento para producir papel reciclado o papel proveniente de pasta virgen es muy similar por lo que sólo se presenta una síntesis del proceso común.

Tras superar los procedimientos descritos, la pasta de papel entra en la máquina de papel, un mecanismo muy complejo que se puede dividir en dos secciones principales:

- a. Sección húmeda: la pasta de papel se dosifica sobre una malla metálica que se mueve por unos rodillos. En este proceso la pasta va perdiendo el agua que contiene por gravedad (en la mesa plana) y después por succión (producida por unos cilindros aspiradores).

- b. Sección seca: en esta sección se procede al secado del papel por medio de unos cilindros giratorios, calentados con vapor de agua a baja presión por los cuales transita la hoja de papel. En este proceso, la hoja pierde hasta un 70% del agua que contenía.

Antes de proceder al enrollado del papel en bobinas, es posible realizar diferentes operaciones para mejorar de las propiedades del papel:

- a. Calandrado: este procedimiento permite mejorar el acabado del papel, mejorando la lisura de la superficie y haciendo el papel más brillante. El tratamiento se efectúa en la satinadora, máquina compuesta por cilindros de hierro colado con la superficie dura y brillante y cilindros con fibra con la superficie elástica y comprensible.
- b. Estucado: con esta operación se modifican las características del papel, permitiendo mejorar los resultados de la impresión y alcanzando un mayor grado de blancura. El proceso consiste en aplicar sobre una de las caras del papel una capa de adhesivos y pigmentos que forman una película de barniz (el estuco) que da al papel gran finura y uniformidad.

- c. Encolado en masa: permite aumentar la resistencia mecánica del papel al aplicar a la hoja una capa encolante formada principalmente por determinados tipos de almidones.

Una vez que están listas las bobinas de papel, se envían a las diferentes áreas de la fábrica para su conversión en los distintos productos: cartón, papel de impresión, papel higiénico, etc.

3.3. Conversión del papel a rollos de papel higiénico

En el caso del papel higiénico, las bobinas son desenrolladas en bobinas de un diámetro menor, que dependerá del diámetro estándar para el papel higiénico que se desea producir. A continuación se cortan estas bobinas en partes cuyo largo también dependerá de las especificaciones del producto. Después de esto los rollos ya del tamaño adecuado, dependiendo de las presentaciones en que se deseen comercializar, pueden o no pasar por otra máquina que se encarga de envolverlos individualmente, luego se agrupan y empacan quedando así como producto terminado.

4. SITUACIÓN ACTUAL DE LA MÁQUINA

4.1. Mantenimiento

El programa de mantenimiento actual de la máquina, incluye todos los componentes sujetos a mantenimiento, ya sean eléctricos, mecánicos, o electrónicos. Sin embargo ya que sería extenderse demasiado en un área que no es específicamente la de este trabajo, se hará mención únicamente al mantenimiento preventivo relacionado con la lubricación de componentes mecánicos. Para esto, se sigue un programa de relubricación de componentes, basado en las recomendaciones del fabricante, y en las condiciones de operación de la máquina. Los componentes que están sujetos a relubricación en la actualidad son rodamientos, cadenas y reductores de velocidad.

Para cada uno de estos componentes se tiene una frecuencia de relubricación que varía dependiendo del tiempo de producción y el tipo de componente que se está relubricando.

En el caso de los rodamientos, se tienen los que sirven de soporte a ejes y cuchillas giratorias, y los que sirven de soporte a los ejes de motores eléctricos.

Para estos componentes, los intervalos de relubricación varían entre una semana y quince días para la mayoría de rodamientos, exceptuando los de los motores eléctricos, los cuales son sustituidos cuando se realiza un mantenimiento mayor a los motores, ya que estos rodamientos son sellados y lubricados de fábrica para el tiempo de vida útil del mismo. La relubricación de los rodamientos puede realizarse en marcha, gracias a que poseen tuberías de conexión entre los puntos y un bloque de graseras en la parte exterior de la máquina.

Las cadenas ubicadas en el interior de la cortadora, se relubrican cada tres días, dependiendo del ritmo de producción, ya que para hacerlo es necesario abrir las compuertas de la máquina y por razones de seguridad, un sensor ubicado en estas compuertas detiene la máquina. Normalmente se aplica aceite con una brocha a las cadenas y se tarda en hacerlo aproximadamente quince minutos. En ocasiones debido a que es difícil de controlar con este método, la cantidad de aceite que se les aplica es excesiva, alrededor de 1.25 galones a la semana para las dos máquinas. Esto produce que en ocasiones el aceite llegue a gotear e incluso salpicar otras partes de la máquina.

Los reductores de velocidad son lubricados por medio del sistema de depósito, y se verifica su nivel una vez por semana, con el equipo en operación. El cambio de aceite del depósito se realiza aproximadamente cada seis meses.

4.2. Producción

Las cortadoras de papel higiénico, trabajan en promedio 22.5 horas por día, de las cuales producen efectivamente durante dieciocho horas (la diferencia radica en tiempos improductivos en los cuales no puede pararse la máquina pero no está realizando cortes), seis días a la semana. Las 1.5 horas restantes del día son perdidas en cambios de turno mayormente, actividades no planificadas del operador, etc.

Durante el tiempo productivo de cada máquina, es necesario detener la cortadora para relubricar las cadenas, lo cual como se mencionó anteriormente, se hace cada tres días durante quince minutos.

Con esto, se tiene que cada cortadora produce diariamente:

$$18 \text{ horas} * \frac{60 \text{ minutos}}{\text{hora}} * \frac{242 \text{ cortes}}{\text{minuto}} * \frac{2 \text{ rollos}}{\text{corte}} = \mathbf{522,720 \text{ rollos}}$$

Si se tiene en cuenta que son dos máquinas, trabajando seis días por semana, se tiene un total semanal de:

$$522,720 \text{ rollos} * 6 \text{ días/semana} * 2 \text{ máquinas} = \mathbf{6,272,640 \text{ rollos}}$$

Sin embargo, es necesario restar la producción semanal que no se realiza debido al tiempo de relubricación de las cadenas:

$$15 \text{ minutos/vez} * 242 \text{ cortes/minuto} * 2 \text{ rollos/corte} = \mathbf{7,260 \text{ rollos/vez}}$$

La relubricación se realiza 2 veces por semana, con lo que se obtiene:

$$7,260 \text{ rollos} * 2 \text{ veces/semana} = \mathbf{14,520 \text{ rollos}}$$

Considerando las dos máquinas:

$$14,520 \text{ rollos/máquina} * 2 \text{ máquinas} = \mathbf{29,040 \text{ rollos}}$$

De esto podemos deducir que la producción actual semanal es:

$$6,272,640 \text{ rollos} - 29,040 \text{ rollos} = \mathbf{6,243,600 \text{ rollos}}$$

5. MEJORAS PROPUESTAS A LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA MÁQUINA, POR MEDIO DEL USO DE UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN CENTRALIZADO

5.1. Mantenimiento

Como se mencionó con anterioridad, se trató de obtener mejoras a través del mantenimiento preventivo relacionado con la lubricación de componentes mecánicos. De esta cuenta, se observó que debido a las características de operación de la máquina cortadora de rollos, la lubricación de cadenas era la actividad de mantenimiento preventivo que se debiera realizar con la frecuencia más corta debido al tipo de trabajo a que están sometidas estas cadenas.

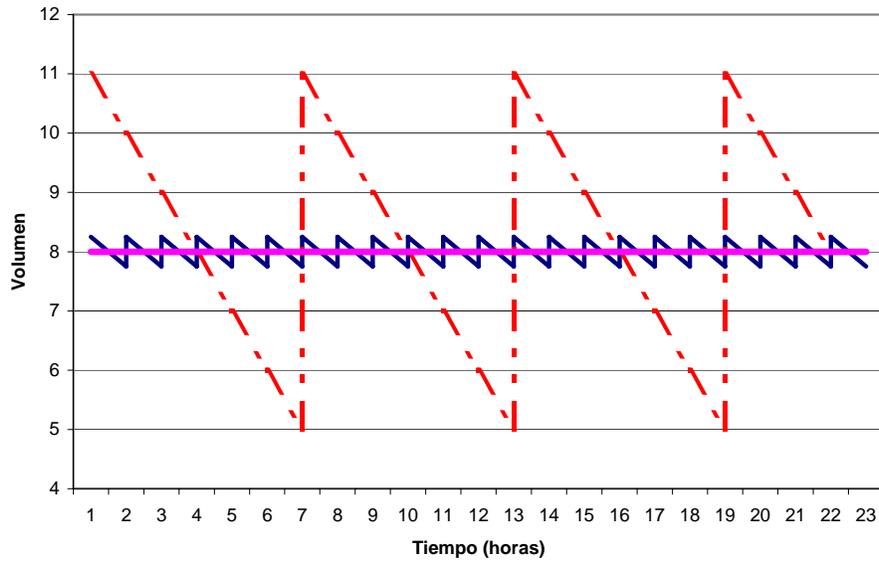
Debe tomarse en cuenta que dentro de la máquina se genera una gran cantidad de partículas de papel que flotan en el ambiente. Estas partículas tienden a adherirse a las superficies húmedas de aceite y absorber el mismo. Esto es precisamente lo que sucede al relubricar la cadena ya que el exceso de aceite que queda sobre ella, hace que estas partículas se adhieran a ella y absorban no sólo el exceso sino que también el aceite que se pretende hacer llegar hacia la parte interna de los rodillos de las cadenas. Además, hay que considerar que las cadenas operan a una velocidad media, y durante dieciocho horas diarias. Todo esto provoca que aunque se aplique una cantidad excesiva de aceite sobre la cadena, ésta no se encuentre adecuadamente lubricada y sufra desgaste excesivo.

Basados en esta situación, se propuso reducir el intervalo de lubricación y la cantidad de aceite que se aplica a las cadenas. Esto reduciría la cantidad de partículas de papel que se adhieren a las cadena debido a que se evita el exceso de aceite sobre las mismas. Al mismo tiempo, esto provocaría que la película de aceite dentro de los rodillos fuera más uniforme y constante.

Para poder obtener una lubricación de este tipo sin necesidad de detener la producción, se optó por utilizar un sistema automático de lubricación, que permitiera intervalos cortos de relubricación y la aplicación de pequeños volúmenes de aceite.

Eliminado: <sp><sp><sp>
<sp><sp><sp>

Figura 7. Volumen de lubricante frente a intervalo de relubricación.



La figura 7 sirve para ejemplificar lo que sucede cuando se relubrica manualmente. Puede verse que se aplica mucha mayor cantidad de lubricante que la teóricamente necesaria, y el componente pasa mucho tiempo sobrelubricado o faltar de lubricante (condiciones ambas indeseables) hasta que vuelve a aplicarse lubricante. En cambio, con el sistema automático se aplica un poco más de la cantidad teórica que se necesita a intervalos muy cortos, lo que produce que el componente pase más tiempo con una lubricación cercana al valor ideal.

5.2. Producción

Con la implementación de un sistema centralizado automático para lubricar las cadenas de las máquinas cortadoras, se quiso evitar el tiempo de paro en la producción debido a este mantenimiento preventivo. De lograrse, significaría un aumento de tiempo productivo semanal de treinta minutos por máquina.

Este aumento de tiempo productivo, se traduce en **29,040 rollos** más de producción a la semana.

6. DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN CENTRALIZADO EN UNA MÁQUINA DE CORTE DE ROLLOS DE PAPEL HIGIÉNICO

Se escogió el sistema paralelo de una línea como el sistema de lubricación centralizado que se utilizará por varias razones. Algunas de ellas fueron descritas como ventajas que posee este tipo de sistema en el capítulo referente a él, aunque una razón importante fue la existencia de un proveedor local de componentes y repuestos, específicamente de la marca Lincoln. Este fabricante posee un procedimiento para el diseño de sus sistemas tipo paralelo de una línea, el cual no dista mucho del de otros fabricantes. Sin embargo, por razones de uniformidad de factores y evitar cualquier necesidad de modificaciones a componentes, se decidió utilizar este procedimiento.

Se tienen básicamente diez pasos por seguir para completar el diseño, los cuales son:

6.1. Obtención de datos de campo

En este paso se toman datos físicos de cada punto por lubricar, como diámetro, largo, ancho, altura, si es fijo o móvil, cantidad de entradas de lubricante que posee, etc. También se hace un croquis de la máquina, se ubican en él los puntos, se toman medidas de la misma, se observa el lugar en que está situada para poder buscar posibles puntos de instalación de la bomba e inyectores, facilidad de obtención de energía, voltaje, presión de aire, acceso a la misma, etc.

Otros aspectos importantes de observar en este momento son factores que puedan afectar a los componentes del sistema, como vibración, corrosión, humedad, polvo, etc. Puede ser útil en este momento tomar algunas fotos de la máquina y/o los puntos, consultar con planos, diagramas o manuales de mantenimiento y operación, etc.

6.2. Cálculo de requerimientos por punto

Es necesario saber cuánto lubricante requiere cada punto que se lubricará por medio del sistema. Para esto, normalmente se considera que la cantidad ideal es aquella que el componente requiera dependiendo del área de contacto que posea.

El área es calculada mediante fórmulas que son dadas para cada tipo de componente, los cuales son:

cojinetes planos, $A=3.14159 * \text{diámetro de eje} * \text{largo del cojinete}$

guías, $A=\text{largo} * \text{ancho}$

cojinetes antifricción, $A= (\text{diámetro del eje})^2 * \text{número de hileras}$

cadenas, $A = (3 * \text{diámetro del sprocket conductor} * \text{ancho de la cadena}) + (0.1 * \text{largo total de la cadena} * \text{ancho de la cadena})$

engranajes, $A = (3.14159)^2 * \text{diámetro de paso} * \text{ancho de la cara del diente}$

cremalleras, $A = 17.47 * \text{diámetro de paso} * \text{ancho de la cara del diente}$

tornillos sinfín, $A = (\text{diámetro de paso del tornillo} + \text{diámetro de paso de la corona}) * \text{largo del tornillo en contacto con la corona}$.

Las dimensiones de los componentes deben ser dadas en pulgadas.

Luego que se tiene el área, se multiplica por un factor de película que recomienda Lincoln, el cual es de 0.008" cada ocho horas para lubricación con aceite y 0.002" cada ocho horas para lubricación con grasa. Este factor está dado como una recomendación y es usualmente adecuado, aunque el diseñador puede aumentarlo basándose en factores como cargas de impacto, altas temperaturas, contaminación, lavado con agua, etc. Debe determinarse el volumen necesario en cada entrada de lubricante que posea el componente, con el objeto de escoger correctamente el tamaño de inyector que se instalará por entrada.

6.3. Cálculo de frecuencia del ciclo y selección de inyectores

Como se ha visto, es más eficiente dispensar pequeñas cantidades de lubricante en frecuencias más cortas. Esto permite además, la posibilidad de utilizar inyectores de menor capacidad y por lo tanto, más económicos.

Para calcular la frecuencia con que se realizarán los ciclos de lubricación, es necesario dividir el volumen más pequeño de los que se calcularon para cada componente dentro de 0.001. Si este cociente excede a 96 para un sistema de grasa o a 480 para uno de aceite, es necesario repetir esta operación utilizando un valor de 0.002 en el divisor. Debe repetirse esta división utilizando incrementos de 0.001 en el divisor, hasta que el cociente sea menor a los valores de 96 ó 480 que se mencionaron.

Este cociente representa el número de ciclos requeridos durante ocho horas para todos los componentes lubricados por el sistema.

A continuación, se compara la cantidad de lubricante requerida por cada componente con el volumen que es capaz de entregar cada tipo de inyector. Estos valores pueden verse en la tabla I

Tabla I. Volumen de entrega para inyectores Lincoln tipo SL

Volumen mínimo	Volumen máximo	Inyector de grasa	Inyector de aceite
0.001	0.003	SL-33	SL-42
0.001	0.008	SL-32	SL-43
0.008	0.080	SL-1	SL-41
0.050	0.500	SL 11	No existe

* El volumen está expresado en pulgadas cúbicas.

Se selecciona el inyector cuyo volumen de entrega satisfaga las necesidades del punto, o en caso de que las necesidades sean mayores que las capacidades de los inyectores, es posible conectar dos o más inyectores hacia un solo punto.

6.4. Cálculo del lubricante requerido por funcionamiento de los inyectores

Debido a la forma de funcionamiento de los inyectores de este tipo de sistema, estos dispensan lubricante y se recargan en cada ciclo. Una cantidad adicional de lubricante es requerida para hacer funcionar el inyector, la cual regresa al depósito cuando el sistema despresuriza la línea principal. Sin embargo, es necesario tomarla en cuenta debido a que debe suministrarse este volumen adicional en cada ciclo. En la tabla II se muestra la cantidad necesaria para hacer funcionar cada tipo de inyector.

Tabla II. Volumen requerido por inyectores Lincoln SL para ciclar

Inyector	Volumen
SL-33, SL-42	0.00875
SL-32, SL-43	0.0175
SL-1, SL-41	0.1
SL-11	0.6

* El volumen está expresado en pulgadas cúbicas.

Luego de encontrarse cuál es la cantidad requerida por inyector, debe multiplicarse la cantidad de inyectores que se tiene de cada tipo por su correspondiente valor y totalizarlo.

6.5. Selección de la línea principal

Es importante que la línea principal de distribución de lubricante sea calculada de tal forma que permita el alivio de presión que necesita el sistema para quedar listo para otro ciclo. Generalmente, esto dependerá del largo de la línea, así como la viscosidad o consistencia del lubricante. Es recomendable utilizar tubería de acero sin costura del tipo hidráulico para esta línea debido a las presiones que se manejan. No se recomienda el uso de tubería de cobre. Debe tratarse que el tendido de esta tubería sea lo más práctico y corto posible, esto traerá además una instalación más económica. El uso de líneas muy largas, requiere del uso de diámetros mayores y consume mucho lubricante por el concepto de expansión que se mencionó anteriormente.

Existen algunas reglas para realizar instalaciones en máquinas múltiples, que son de gran utilidad:

- a. Utilice la misma medida de tubería para la línea principal tanto como sea posible, excepto en derivaciones en las que se haga totalmente necesario utilizar otra medida.
- b. Para una máquina en específico, las líneas de distribución entre inyectores deben ser de la medida que el inyector especifica para la entrada de lubricante.
- c. Tratar de agrupar inyectores cuando sea posible, y cada grupo posea una derivación propia de la línea principal.
- d. Las líneas de distribución deben poseer soportes adecuados, no quedar sueltas o inseguras. Los soportes deben permitir expansión en la tubería o aislarla de vibración, altas o bajas temperaturas, etc.

Con estos aspectos en mente, debe realizarse un esquema de la instalación, y anote los largos de cada tramo, para así obtener el largo total de la instalación, así como el punto más alejado de la bomba.

Con la distancia hacia el punto más alejado y dependiendo de la consistencia de la grasa por utilizar o si se utilizará aceite, debe buscarse en la tabla III el diámetro de tubería que se utilizará.

Tabla III. Largos máximos para la línea principal

Tubing O.D. (Acero)	Espesor mín. de pared	Largo máximo (pies)			
		Grasa NLGI 0	Grasa NLGI 1	Grasa NLGI 2	Aceite
1/4 "	0.028"				75
3/8 "	0.028"	50	25		150
1/2 "	0.049"	75	40	25	225
5/8 "	0.049"	125	70	40	300
3/4 "	0.065"	175	100	60	375
1 "	0.083"	350	175	100	525
1 1/4 "	0.134"	475	250	150	
2 "	0.220"	1000	600	375	
Tubería	Cédula				
1/8 "	40				75
1/4 "	40	40	25		150
3/8 "	40	80	40	25	225
1/2 "	40	125	70	40	300
3/4 "	80	175	90	60	375
1 "	80	300	175	100	525
1 1/4 "	80	525	275	170	
1 1/2 "	80	750	375	250	
2 "	160	1000	475	300	
Nota: para sistemas utilizando aceite, se ha considerado una temperatura del lubricante de 18°C, para temperaturas más bajas, utilice el siguiente diámetro mayor.					

Por ejemplo si el largo del ramal más largo es de 160 pies, utilizando grasa NLGI 0, debemos utilizar tubería de acero de 3/4" de diámetro, ya que el de 1/2", nos permite un máximo de 125 pies.

Sin embargo, en este punto debe tomarse en cuenta el hecho de es posible que el ramal más largo puede a su vez tener cambios de diámetro debido a las exigencias de los inyectores, ya que por razones económicas y de facilidad de instalación, en ocasiones no toda la línea principal posee el mismo diámetro y se reduce exactamente en la entrada del inyector, sino que se tienen tramos de tubería principal de menor diámetro.

Si por ejemplo se necesita tener un bloque de inyectores SL-1, el cual tiene una entrada de lubricante de 3/8" nuestra línea principal debe tener una parte de tubería de 3/8".

Debido a que existe una pérdida de presión en las tuberías que es mayor mientras más pequeño es el diámetro de la misma, para el cálculo del ramal más largo de tubería se tendrá que convertir ese tramo de 3/8" a su equivalente de 3/4".

Se asumirá que dicho tramo de 3/8" es de 5 pies y teniendo siempre en mente que se utilizará el lubricante NLGI 0, se obtiene de las siguientes tablas el valor correspondiente.

Tabla IV. Equivalencias de tuberías para grasa NLGI 0

Grasa NLGI 0									
Diámetro		Tubería "A"							
		¼	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2
Tubería "B"	1/4	1	0.5	0.32	0.23	0.13	0.076	0.053	0.04
	3/8	2	1	0.67	0.44	0.27	0.15	0.107	0.08
	1/2	3.125	1.5	1	0.73	0.4	0.24	0.17	0.125
	3/4	4.375	2.25	1.375	1	0.57	0.33	0.24	0.17
	1	7.5	3.75	2.5	1.75	1	0.57	0.4	0.3
	1 ¼	13.125	6.5	4.25	3	1.75	1	0.67	0.5
	1 ½	18.75	9.375	6	4.25	2.5	1.5	1	0.73
	2	25	12.5	8	5.75	3.375	2	1.375	1

Tabla V. Equivalencias de tuberías para grasa NLGI 1

Grasa NLGI 1									
Diámetro		Tubería "A"							
		¼	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2
Tubería "B"	¼	1	0.63	0.36	0.28	0.14	0.09	0.07	0.05
	3/8	1.625	1	0.57	0.44	0.23	0.15	0.11	0.08
	½	2.875	1.75	1	0.8	0.4	0.26	0.19	0.15
	¾	3.625	2.25	1.25	1	0.5	0.33	0.24	0.19
	1	7	4.375	2.5	2	1	0.67	0.47	0.36
	1 ¼	11	6.875	3.875	3	1.5	1	0.73	0.57
	1 ½	15	9.375	5.25	4.125	2.125	1.375	1	0.8
	2	19	11.875	6.75	5.25	2.75	1.75	1.25	1

Tabla VI. Equivalencias de tuberías para grasa NLGI 2

Grasa NLGI 2								
Diámetro		Tubería "A"						
		3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2
Tubería "B"	3/8	1	0.62	0.42	0.25	0.15	0.1	0.08
	1/2	1.625	1	0.67	0.4	0.24	0.16	0.13
	3/4	2.375	1.5	1	0.62	0.35	0.24	0.2
	1	4	2.5	1.625	1	0.57	0.4	0.33
	1 1/4	6.875	4.25	2.875	1.75	1	0.67	0.57
	1 1/2	10	6.25	4.125	2.5	1.5	1	0.83
	2	12	7.5	5	3	1.75	1.25	1

Como puede observarse en la tabla IV, el largo equivalente de 5 pies de tubería de 3/8" usando grasa NLGI 0, es de: 5 pies X 2.25 = 11.25 pies. Así, el largo total que debe tomarse en consideración es de 160+11.25= 171.25 pies de tubería de 3/4", largo que todavía es permisible para este diámetro.

6.6. Determinación del lubricante requerido para compensar expansión de la línea principal

Ya que la línea principal de lubricante, ya sea tubería o manguera, se expande cuando el sistema alcanza la presión de trabajo, cierta cantidad de lubricante ocupa este espacio adicional en la línea.

Es necesario que se tome en cuenta ya que será lubricante que la bomba deberá suministrar cada vez que se realice un ciclo. Debe tenerse claro el concepto de que este lubricante no llegará a los puntos finales, sino que solamente se suministrará a la línea principal, pero retornará al depósito al momento del alivio de presión.

La cantidad de lubricante requerida por expansión se obtiene de la tabla VII, con base en el diámetro de la tubería o tubing, y al lubricante que se va a utilizar (aceite o grasa).

Tabla VII. Cantidad de lubricante requerido por expansión de tubería

Diámetro exterior tubing (Pulg.)	Espesor mínimo de pared	Factor de expansión (Pulg ³)	
		Grasa	Aceite
¼	0.028	0.0025	0.0009
3/8	0.028	0.007	0.00256
½	0.049	0.010	0.004
5/8	0.049	0.017	0.0072
¾	0.065	0.025	0.0096
1	0.083	0.045	
1 ¼	0.134	0.060	
2	0.220	0.150	

Tabla VII. Cantidad de lubricante requerido por expansión de tubería

Diámetro tubería (Pulg.)	Cédula	Factor de expansión Pulg ³	
		Grasa	Aceite
1/4	40	0.1	0.004
3/8	40	0.017	0.0072
1/2	40	0.025	0.0096
3/4	80	0.035	
1	80	0.060	
1 1/4	80	0.105	
1 1/2	80	0.145	
2	160	0.184	

Esta tabla provee un factor que debe ser multiplicado por el largo total de cada sección que use el mismo diámetro, y luego la suma de todos los valores para cada sección distinta dará el total de lubricante adicional que debe entregar la bomba por expansión.

Es de hacer notar que si se utiliza manguera para la línea principal, debido a que esta puede expandirse hasta veinte veces más que la tubería, debe utilizarse el valor del diámetro interno de la manguera como el valor del diámetro de la tubería en esta tabla y el factor que se obtenga debe multiplicarse por 20 para obtener la cantidad de lubricante adicional que debe entregar la bomba por ciclo.

6.7. Cálculo del largo de la tubería de entrega a los puntos

Utilizando el esquema de instalación que se realizó anteriormente, determine el largo de la línea necesaria para entregar lubricante desde cada inyector con su correspondiente punto de lubricación. Deben compararse los largos con la tabla VIII y seleccionarse el diámetro adecuado para la distancia.

Tabla VIII. Largo máximo para líneas de entrega a puntos

Tubing O.D. (Acero)	Espesor min. de pared	Largo máximo (pies)								
		Lubricante	Grasa NLGI 0				Grasa NLGI 1			
		Inyector	SL-33	SL-32	SL-1	SL-11	L-33	SL-32	SL-1	SL-11
1/8 "	0.020"		20	16	4		2	10	3	
1/4 "	0.028"				35	38			17	25
3/8 "	0.028"				64	75			26	45
Tubería	Cédula									
1/8 "	40					62				35
1/4 "	40					120				60
Tubing O.D. (Acero)	Espesor min. de pared	Largo máximo (pies)								
		Lubricante	Grasa NLGI 2				Aceite			
		Inyector	SL-33	SL-32	SL-1	SL-11	SL-41	SL-42	L-43	SL-44
1/8 "	0.020"		6.5	5	1.5		25			
1/4 "	0.028"				8	13	100			
3/8 "	0.028"				16	20				
Tubería	Cédula									
1/8 "	40					20				62
1/4 "	40					30				120

6.8. Selección de la bomba

La selección de la bomba depende básicamente de la cantidad de lubricante que se necesita entregar al sistema y la fuente de energía que se tiene disponible (electricidad, aire comprimido o fluido hidráulico).

Usualmente para sistemas que requieren 2.4 pulgadas cúbicas o menos de aceite, o 2.15 pulgadas cúbicas o menos de grasa, es usual utilizar bombas del tipo llamado de simple acción, en las cuales todo el lubricante requerido para accionar el sistema completo es entregado en un solo movimiento de la bomba.

Cuando se tiene necesidad de entregar más lubricante al sistema, normalmente se utilizan bombas del tipo reciprocante, las cuales son capaces de dar varios movimientos continuos, de tal forma de que pueden entregar mayor cantidad de grasa.

En la tabla IX se dan algunos datos de las bombas más comúnmente utilizadas, tanto de simple acción como reciprocantes.

Tabla IX. Volumen de entrega para algunas bombas Lincoln

Bomba Lincoln	Lubricante	Descripción	Volumen de descarga
82886	Grasa	Simple acción, neumática, retorno por resorte, depósito de 30 pulg3.	0.450 pulg3 por ciclo.
83834	Grasa	Simple acción, neumática, retorno neumático, depósito de 120 pulg3.	2.150 pulg3 por ciclo.
82885	Aceite	Simple acción, neumática, retorno por resorte, depósito de 36 pulg3.	0.450 pulg3 por ciclo.
82570	Aceite	Simple acción, neumática, retorno neumático, depósito de 123 pulg3.	2.400 pulg3 por ciclo.
82050	Grasa	Reciprocante, neumática, depósito 15 galones.	30 pulg3 a 75 ciclos por min. (100 psig)
2004	Grasa	Reciprocante, neumática, depósito 55 galones.	161 pulg3 a 75 ciclos por min. (100 psig)
2002	Aceite	Reciprocante, neumática, depósito 55 galones.	462 pulg3 a 75 ciclos por min. (100 psig)

Nota: para el caso de las bombas reciprocantes, se da el valor de presión neumática al cual son capaces de entregar ese flujo de lubricante.

6.9. Selección del sistema de control

El sistema de control normalmente depende de la complejidad o precisión que se desee tener. En ocasiones, es posible obtener una parte o todo el sistema de control junto con la bomba que se utilice, ya que se pueden adquirir como paquete.

Otro factor que debe tomarse en cuenta es el económico, ya que puede ser posible que tener un sistema de control muy sofisticado no justifique los beneficios del mismo.

Lo más común es contar con al menos un temporizador o algún dispositivo que envíe la señal de arranque (también puede dar la señal de paro en el caso de los sistemas con bombas de simple acción), un dispositivo que de la señal de paro (un *switch* de presión, un *switch* de límite colocado en un inyector, un *switch* de flujo, etc), y un sistema de alarma (que puede estar conectada al temporizador, al *switch* de presión, de flujo u otro dispositivo).

6.10. Determinación del uso de accesorios

Es usual añadir algunos accesorios en las instalaciones que aunque no son indispensable, son útiles para realizar chequeos en el sistema o mantenerlo operando en mejores condiciones. El uso de estos accesorios dependerá de las necesidades del diseñador.

Los accesorios incluyen manómetros de presión en la línea principal, válvulas de cierre de emergencia, sistemas de filtro-regulador-lubricador (FRL) en el caso de bombas neumáticas, cobertores para proteger los inyectores del ambiente, elevadores neumáticos de bombas (para facilitar el cambio de toneles de lubricante por ejemplo), etc.

A continuación se presentan en las tablas X y XI, un resumen del cálculo del sistema para lubricar las cadenas de las dos máquinas cortadoras de papel, siguiendo los pasos anteriormente descritos para el cálculo.

Tabla X. Cálculo de intervalos de relubricación

Punto	Diámetro Pulg.	Ancho Pulg.	Largo Pulg.	Área Pulg. ²	Película/ 8 h.	Pulg ³ / 8 h.	Ciclos/ 8 h.	Minutos entre ciclos
1	5	0.5	20	8.5	0.008	0.068		
2	5	0.5	20	8.5	0.008	0.068		
3	5	0.5	20	8.5	0.008	0.068		
4	5	0.5	20	8.5	0.008	0.068		
5	5	0.5	20	8.5	0.008	0.068		
6	5	1	20	17	0.008	0.136		
7	3	0.5	10	5	0.008	0.04	40	12
8	3	0.5	10	5	0.008	0.04		
9	5	0.5	25	8.75	0.008	0.07		
10	3	0.5	15	5.25	0.008	0.042		
11	3	0.5	15	5.25	0.008	0.042		
12	8	1	25	26.5	0.008	0.212		
13	7	0.5	12	11.1	0.008	0.0888		

Tabla XI. Cálculo de volumen por punto y volumen necesario para ciclar

Punto	Pulg ³ / ciclo	Tipo de inyector	Cantidad inyectores	Factor funcionamiento inyector	Volumen necesario para ciclar. (Pulg ³)
1	0.0017	SL-43	1	0.0175	0.0175
2	0.0017	SL-43	1	0.0175	0.0175
3	0.0017	SL-43	1	0.0175	0.0175
4	0.0017	SL-43	1	0.0175	0.0175
5	0.0017	SL-43	1	0.0175	0.0175
6	0.0034	SL-43	1	0.0175	0.0175
7	0.0010	SL-43	1	0.0175	0.0175
8	0.0010	SL-43	1	0.0175	0.0175
9	0.0018	SL-43	1	0.0175	0.0175
10	0.0011	SL-43	1	0.0175	0.0175
11	0.0011	SL-43	1	0.0175	0.0175
12	0.0053	SL-43	1	0.0175	0.0175
13	0.0022	SL-43	1	0.0175	0.0175
TOTAL	0.0253			TOTAL	0.2275

Gracias a que se disponía de suficiente espacio, se evaluó el colocar la bomba en varios puntos diferentes, encontrándose un punto en el cual quedaba casi en medio de las dos máquinas cortadoras de papel. Esto permitió que la distancia de la bomba al punto más alejado fuera de aproximadamente 30 pies, lo que nos permitió utilizar *tubing* de acero de ¼" O.D.

Al sumar las distancias de tubería desde la bomba hacia las dos máquinas, tomando en cuenta los dobleces de tubería, la distancia total resultó ser de aproximadamente 75 pies.

Con este dato, el uso de aceite y el uso de *tubing* de ¼" O.D. como línea principal, de la tabla VII se obtuvo un volumen de lubricante necesario para compensar la expansión de la línea principal de:

$$75 \times 0.0009 = \quad \mathbf{0.0675 \text{ pulgadas cúbicas por ciclo}}$$

Si se suma el volumen necesario para hacer funcionar los inyectores y el volumen necesario para compensar la expansión, se obtiene:

$$0.0675 + 0.2275 = \quad \mathbf{0.295 \text{ pulgadas cúbicas por ciclo}}$$

Con este valor y teniendo a disposición aire comprimido para hacer funcionar la bomba, se escogió utilizar una bomba Lincoln modelo 82885, que es capaz de entregar 0.450 pulgadas cúbicas por ciclo y tiene un depósito de 36 pulgadas cúbicas.

Además, esta bomba por ser de simple acción no necesita utilizar una válvula de venteo para aliviar la presión de la línea principal, sino que al retroceder a su posición original el cilindro interno que posee para bombear el lubricante, queda abierto un paso entre la línea principal y el depósito de la bomba, permitiendo el alivio de la presión en la línea.

Todas las distancias existentes entre los inyectores y los puntos de aplicación fueron menores a 25 pies, por lo que se pudo utilizar *tubing* de 1/8" O.D. para la tubería de entrega al punto. Debido a las características del componente que se necesitaba lubricar, se decidió instalar brochas especiales para lubricación de cadenas en cada una de las mismas.

Otra de las características especiales de esta instalación fue el hecho de utilizarse una sola bomba para dos máquinas, ya que se hizo necesario poder independizar la entrega de lubricante en cada una de las mismas. Esto debido a que puede darse el caso de que una de las dos máquinas esté trabajando y la otra no.

Para poder resolver este problema y que el sistema siguiera siendo automático, se hizo necesario que el sistema de control de la bomba recibiera señal de cualquiera de las dos cortadoras, y se instalaron válvulas solenoides para aceite del tipo normalmente cerradas en cada uno de los dos ramales principales de la tubería que llevan a cada máquina.

Estas válvulas reciben señal de apertura al darse el arranque del motor principal de la cortadora de rollos, de tal forma que si una cortadora para, se cierra el paso de lubricante hacia ella pero no se cierra el paso hacia la otra cortadora.

Otro hecho que debe hacerse notar es que la bomba fue instalada fuera de las cortadoras, por lo que para rellenar su depósito, hacer una inspección o reparación, no es necesario parar las cortadoras.

El sistema de control que se instaló fue un temporizador de encendido / apagado y una válvula solenoide de aire de tres vías. Los accesorios que se utilizaron fueron un kit de filtro – regulador – lubricador neumático (F-R-L), y un manómetro a la salida de lubricante de la bomba hacia la línea principal.

La cantidad de lubricante que se utilizará por ciclo para cada una de las cortadoras de rollos es de 0.0253 pulgadas cúbicas, por lo que asumiendo que siempre funcionen las dos máquinas al mismo tiempo, el volumen necesario para las dos máquinas por ciclo será de:

$$0.0253 * 2 = \mathbf{0.0506 \text{ pulgadas cúbicas}}$$

Si el volumen de lubricante que puede contener el depósito de la bomba es de 36 pulgadas cúbicas (aproximadamente 0.16 galones) se obtiene:

$$36 / 0.0506 = \mathbf{711.46}, \text{ o sea aproximadamente } \mathbf{711 \text{ ciclos}}$$

Si se realiza un ciclo cada doce minutos, podemos calcular el tiempo total que tardará en vaciarse el depósito de la bomba:

$$711 * 12 = \mathbf{8,532 \text{ minutos}}$$

Para obtener la cantidad de días que tardará en vaciarse el depósito, debe tomarse en cuenta el tiempo que las máquinas deben permanecer arrancadas por día:

$$22.5 \text{ horas/día} * 60 \text{ minutos/hora} = \mathbf{1,350 \text{ minutos/día}}$$

Relacionando estos tiempos, podemos calcular que el depósito debiera teóricamente de contener suficiente aceite para:

$$8,532 / 1,350 = \mathbf{6.32 \text{ días de producción}}$$

Ya que se produce seis días a la semana, lo más práctico sería rellenar el depósito una vez por semana.

Debido a políticas de la empresa, no es posible mostrar una foto de la instalación final del equipo, pero se presentan dos figuras que ayudan a explicar como quedó la instalación finalmente.

Figura 8. Equipo de lubricación Lincoln paralelo de una línea para cadenas.

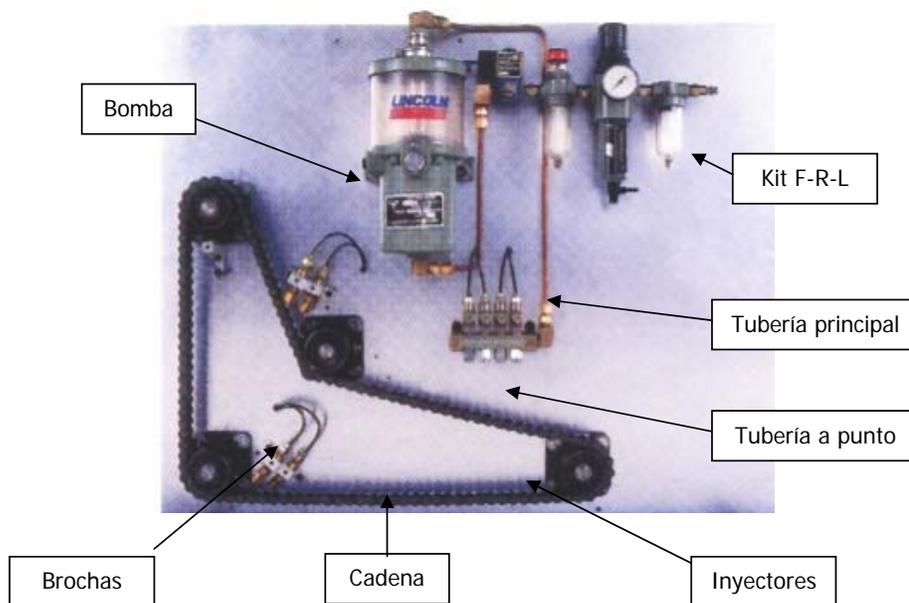
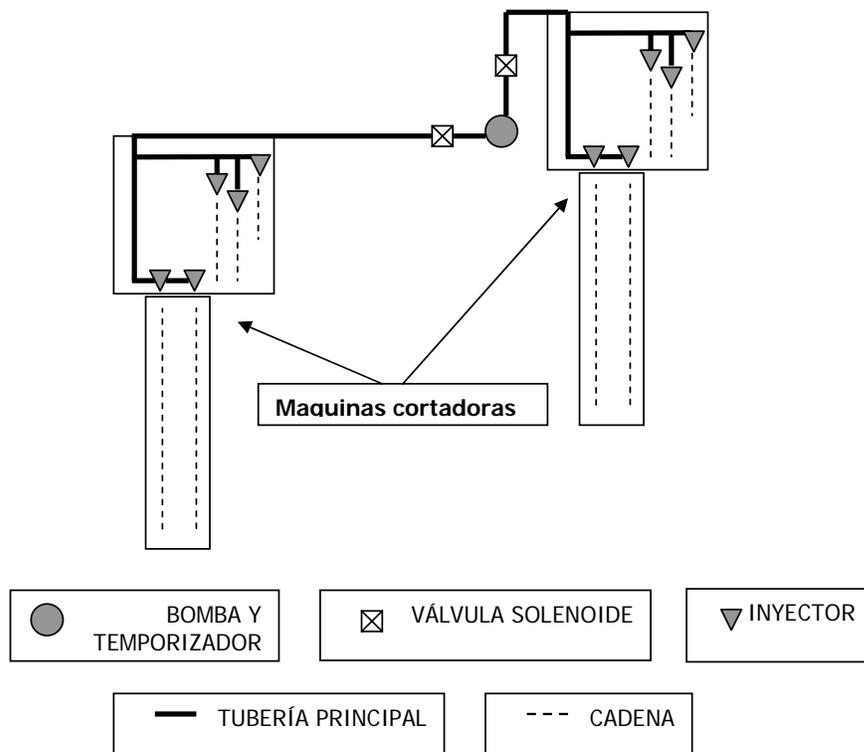


Figura 9. Diagrama visto en planta de la instalación del sistema



7. EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN

7.1. Parámetros de comparación

Debido a las políticas de la empresa en la cual se encuentran instaladas las máquinas cortadoras, no fue posible realizar un análisis de retorno de la inversión, debido a la carencia de datos que serían necesarios para el mismo. Sin embargo es posible tomar como referencia el incremento de producción que se dio al implementar una lubricación automática de las cadenas.

Desde el punto de vista de mantenimiento, es posible comparar el tiempo de mantenimiento preventivo empleado para relubricar las cadenas manualmente contra el tiempo empleado para revisar y rellenar el equipo de lubricación centralizado.

En la tabla XII, se presenta un comparativo de los parámetros antes y después de la implementación del sistema centralizado de lubricación automática

Tabla XII Comparativo de parámetros

Núm.	Parámetro	Anterior implementación	Posterior implementación	Diferencia
1	Producción de rollos.	6,243,600	6,272,640	29,040
2	Horas de paro por relubricación de cadenas.	1	0	-1
3	Horas-hombre por relubricación de cadenas.	1	0.17	-0.83
4	Galones de aceite utilizado para relubricación de cadenas.	1.25	0.16	-1.09

Nota: para todos los parámetros, los datos son semanales y para las dos máquinas.

7.2. Resultados

Como puede verse en la tabla XII, después de la implementación del sistema automático de lubricación, la lubricación de las cadenas de las máquinas cortadoras de rollos de papel higiénico, se obtuvo un incremento de producción de 29,040 rollos semanales, una reducción de una hora de paro de maquinaria, así como reducción de 0.83 horas-hombre semanales y se ahorró 1.09 galones de aceite por semana.

La relubricación de las cadenas de estas máquinas pasó de ser una actividad específica dentro del programa de mantenimiento preventivo, en la cual se detenía la producción durante treinta minutos semanales por máquina, invirtiendo igual cantidad de tiempo de mano de obra y aún así siendo inadecuada; a ser parte de una rutina de inspección con un tiempo de paro de producción de cero y un tiempo de mano de obra de alrededor de diez minutos semanales para ambas máquinas. Esto gracias a que la bomba que se instaló en el sistema es capaz lubricar las dos cortadoras, por lo que sólo se hace necesario rellenar un depósito una vez por semana al mismo tiempo que se realiza un chequeo del sistema, lo que asegura su óptimo funcionamiento.

Algunos de los valores que se lograron reducir pueden parecer poco significativos, pero si se toman esos valores y se trasladan a otros marcos de referencia en el tiempo podemos ver por ejemplo un ahorro de casi un tonel de aceite al año, o un ahorro de casi cuatro horas-hombre al mes, prácticamente medio de día de trabajo.

Debe tomarse en cuenta que no se aplicó ningún tipo de costeo a estos valores, ya que la empresa por políticas internas no proporcionó este tipo de datos.

CONCLUSIONES

1. Se logró reducir el tiempo de paro de las dos máquinas de corte de rollos de papel higiénico debido a relubricación de cadenas de una hora semanal a cero.
2. Se aumentó la producción semanal para ambas máquinas en 29,040 rollos.
3. Se redujeron las horas-hombre empleadas en relubricación de cadenas de una hora a quince minutos.
4. Se redujo el consumo de aceite semanal de aceite de 1.25 a 0.16 galones.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar la factibilidad de instalar sistemas de lubricación centralizados automáticos en otras máquinas de la planta, por ejemplo en las máquinas de papel.
2. Utilizar un aceite especializado para lubricación de cadenas, para mejorar la calidad de lubricación de las mismas.
3. Drenar diariamente el filtro de la unidad FRL, para evitar que la bomba pueda fallar por ingreso de agua en el cilindro.
4. Revisar semanalmente que no existan fugas de aceite en las líneas principales, ya que el sistema no cuenta con una alarma para este propósito y los derrames de aceite pueden ser fuente de lesiones para el personal.

BIBLIOGRAFÍA

1. Albarracín Aguillón, Pedro. **Tribología y lubricación industrial y automotriz**. 2ª. Ed. (vol. 1) Colombia: LITOCHOA, 1993. 975 pp.
2. Booser, E. Richard. **HANDBOOK OF LUBRICATION**. E.U.A.:s.e., 1985.
3. Castrol Industrial North America. **GENERAL REFERENCE GUIDE**, E.U.A.:s.e.,2002.
4. Lincoln. **CENTRO-MATIC, AUTOMATED LUBRICATION DESIGN GUIDE**. E.U.A.:s.e.,1989.
5. Marks. **Manual del ingeniero mecánico** 9ª. Ed. México: McGraw-Hill, 1995.
6. Neale, M.J. **TRIBOLOGY HANDBOOK**. E.U.A.: s.e., 1975.