

REDISEÑO DE UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN CENTRALIZADO EN UNA  
LINEA DE TRANSPORTE DE BOTELLAS EN UNA EMPRESA DE BEBIDAS

ANDRES MAURICIO ALZATE RESTREPO

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLIN  
2009

REDISEÑO DE UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN CENTRALIZADO UNA  
LINEA DE TRANSPORTE DE BOTELLAS EN UNA EMPRESA DE BEBIDAS

ANDRES MAURICIO ALZATE RESTREPO

Anteproyecto para optar al título de Ingeniero Mecánico

Dennis Álvarez  
Ingeniero Químico

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLIN  
2009

Dedicado a Mamá, el amor que se transformo en alas para poder volar.

Agradezco a las personas que hicieron posible este trabajo a Denis Álvarez por su confianza e incondicional apoyo, a Bavaria SABMiller por su toda la ayuda suministrada.

## CONTENIDO

	Pág.
1.PRESENTACION	12
2. OBJETO DE ESTUDIO	14
3. ESTADO DEL ARTE	15
3.1 ANTECEDENTES	15
3.2 FRICCIÓN	18
3.2.1 Definición de fricción.	18
3.2.2 Tipos de fricción.	19
3.3 LUBRICACION	21
3.3.1 Tipos de lubricación.	21
3.4 CADENAS PLANAS PARA TRANSPORTE DE BOTELLAS	24
4. OBJETIVOS	31
4.1 OBJETIVO GENERAL	31
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
4.2.1 Objetivo 1.	31
4.2.2 Objetivo 2.	31
4.2.3 Objetivo 3.	31
4.2.4 Objetivo 4.	31
4.2.5Objetivo 5.	32
5. GENERALIDADES DEL SISTEMA	33
5.1 FLAUTAS DE ASPERSIÓN.	35
5.2 TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN.	36
5.3 BOMBA DE SOLUCIÓN.	36
5.4 BOMBA DOSIFICADORA.	38
5.5 REGULADOR DE PRESIÓN	38

5.6 VÁLVULA NEUMÁTICA.	39
5.7 SENSORES DE NIVEL.	39
5.8 MANIFOLD DE DISTRIBUCIÓN.	40
5.9 REDES DE DISTRIBUCIÓN.	41
5.10 ELECTROVÁLVULAS.	41
5.11 CONTROL.	42
6. OPORTUNIDADES DE MEJORA.	43
6.1 RED DE LUBRICACIÓN EN LA LÍNEA DE ENVASE.	43
6.1.1 Estandarización de Boquillas aspersoras.	43
6.1.2 Inspección de las boquillas aspersoras.	44
6.1.3 Fugas en la red del sistema.	45
6.1.4 Elementos de control en las flautas.	46
6.1.5 Reordenamiento de redes.	47
6.2 ELECTROVÁLVULAS.	47
6.2.1 Estado de las válvulas.	47
6.3 LUBRICANTE.	48
6.4 SISTEMA DE BOMBEO.	48
6.5 TIEMPOS DE LUBRICACIÓN.	48
6.6 LIMPIEZA DEL SISTEMA.	49
6.7 REUTILIZACIÓN DE AGUA PARA LA LUBRICACIÓN.	49
7. SOLUCIONES DE MEJORA Y SU EVALUCION ECONOMICA.	51
7.1 RED DE LUBRICACIÓN EN LA LÍNEA DE ENVASE.	51
7.1.1 Estandarización de Boquillas aspersoras.	51
7.1.2 Inspección de boquillas aspersora.	55
7.1.3 Fugas en la red del sistema.	57
7.1.4 Elementos de control en las flautas de lubricación.	58
7.1.5 Reordenamiento de redes.	58
7.2 ELECTRO VÁLVULAS.	60
7.2.1 Estado de las válvulas.	60
7.3 LUBRICANTE.	61

7.3.1 Clases de lubricantes.	62
7.3.2 Dosificación del lubricante sintético.	64
7.4 SISTEMA DE BOMBEO.	67
7.4.1 Independencia de bombeo.	71
7.5 PROGRAMACIÓN DE TIEMPOS DE LUBRICACIÓN.	75
7.6 LIMPIEZA DEL SISTEMA.	77
7.7 REUTILIZACIÓN DE AGUA PARA LUBRICACIÓN.	78
7.7.1 Filtración por membranas.	78
7.8 MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA.	80
7.8.1 Coeficiente de fricción.	80
7.8.2 Paros de producción.	82
7.9 EVALUACIÓN ECONÓMICA	83
8. PLAN DE ACCIÓN.	89
9. CONCLUSIONES	94
10. BENEFICIARIO DIRECTO	96
11. BIBLIOGRAFÍA	97

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de la bomba.	37
Tabla 2. Propiedades Boquillas de Aspersión	52
Tabla 3. Tipo de boquillas por zona.	55
Tabla 4. Boquillas con problemas	56
Tabla 5. Resultado inventario de fugas.	57
Tabla 6. Resultados inspección de válvulas de control.	58
Tabla 7. Resultados tiempos de ciclos de trabajos.	61
Tabla 8. Propiedades del lubricante.	62
Tabla 9. Comparación lubricante orgánico vs sintético.	63
Tabla 10. Datos de la calibración	65
Tabla 11. Seguimiento de la conductividad y concentración	66
Tabla 12. Datos y seguimiento del sistema de bombeo.	68
Tabla 13. Potencia necesaria para el sistema.	70
Tabla 14. Matriz de decisión.	73
Tabla 15. Potencia de la bomba.	74
Tabla 16. Ciclos de cadenas.	76
Tabla 17. Cronograma de limpieza.	77
Tabla 18. Características del agua destinadas para el proceso.	78
Tabla 19. Coeficientes de fricción entre materiales.	80
Tabla 20. Resultados prueba de fricción	81
Tabla 21. Análisis costos situación sistema de lubricación anterior.	83
Tabla 22. Análisis costos situación sistema de lubricación anterior.	85
Tabla 23. Costos por hora de producción.	86
Tabla 24. Proyección anual del proyecto.	87



Tabla 25. Plan acción.	90
Tabla 26. Diagrama de Gantt del proyecto.	92

## TABLA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema de lubricación recipiente con jabón	15
Figura 2. Lubricación por goteo	16
Figura 3. Lubricación por seno el de la cadena.	16
Figura 4. Lubricación por aspersion.	17
Figura 5. Sistema de lubricación actual	18
Figura 6. Ilustración fricción diluida.	20
Figura 7. Ilustración fricción seca.	20
Figura 8. Ilustración lubricación hidrostática.	24
Figura 9. Esquema central de lubricación	24
Figura 10. Típica unidad de cadena silenciosa	25
Figura 11. Cadena plana plástica	26
Figura 12. Cadenas planas flexibles.	26
Figura 13. Diseño de transportes planos.	27
Figura 14. Método de lubricación para las cadenas planas	28
Figura 15. Puntos ideales de lubricación	29
Figura 16. Tabla para selección de material.	30
Figura 17. Esquema proceso del sistema de lubricación	33
Figura 18. Sistema central de lubricación	35
Figura 19. Partes de una flauta	36
Figura 20. Bombas del sistema	37
Figura 21. Bomba de dosificación.	38
Figura 22. Válvula de estrangulación	38
Figura 23. Válvula neumática.	39
Figura 24. Esquema de los sensores de nivel	40

Figura 25. <i>Manifold</i>	40
Figura 26. Redes de lubricación	41
Figura 27. Electroválvulas.	42
Figura 28. Flauta con boquillas diversas.	44
Figura 29. Boquillas en mal estado.	45
Figura 30. Fugas.	46
Figura 31. Ausencia de elementos de control.	46
Figura 32. Electroválvula.	47
Figura 33. Línea de envase.	49
Figura 34. Solución agua lubricante.	50
Figura 35. Curva caudal de boquillas	52
Figura 36. Esquema zonas de dosificación	53
Figura 37. Flautas primer nivel.	59
Figura 38. Curva de calibración	65
Figura 39. Curva caudal vs presión	69
Figura 40. Curva de Potencia vs Presión.	71
Figura 41. Esquema propuesta 1	72
Figura 42. Esquema propuesta 2	73
Figura 43. Modelación sistema autónomo de bombeo	75
Figura 44. Diagrama de flujo del sistema de filtración	79
Figura 45. Comparativo paros de producción	82
Figura 46. Comparativo costo hora de producción.	87
Figura 47. Estructura de desglose del trabajo.	89

## 1. PRESENTACION

Debido a los altos consumos y la falta de eficiencia en sistema de lubricación en las cadenas planas de los transportes del proceso de envase en una empresa de bebidas, se estudia la posibilidad de optimizar y rediseñar el sistema de lubricación de cadenas planas, los estudios previos descubren una necesidad latente de optimizar este proceso, ya que el desperdicio del lubricante y de los recursos utilizados para este fin se están utilizando inapropiadamente ocasionando comportamientos no deseados en el proceso de envasado.

En un principio se determina cambiar el tipo de dosificación y así regular el consumo del lubricante liquido pero ese no es el único inconveniente ya que el sistema está algo desgastado además, por sus horas de trabajo este no está a punto. El rediseño del sistema y optimización tanto en el desempeño de producción como en la eficiencia económica es una necesidad inminente.

La configuración actual del sistema de lubricación de cadenas para el transporte de botellas está afectando la producción ya que la deficiente lubricación en algunos tramos provoca la caída botellas y esto impide el normal desarrollo del flujo de producción, también provoca daños estructurales en las cadenas de transporte y todas las partes relacionadas con esta, existen inconvenientes con la presentación del producto ya que la acumulación de espuma en el sistema deteriora la etiqueta, adicionalmente podría afectar a la seguridad del personal operario ya que las fugas de este lubricante al piso de la línea de envase pueden generar un accidente.

La implementación de un nuevo sistema de lubricación es importante ya que los indicadores en el área de envase de la empresa se ven afectados por unos problemas de lubricación que se refleja en el incumplimiento de las metas propuestas por una empresa de bebidas.

## 2. OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio es el rediseño de una central de lubricación que garantice las condiciones de operación de la línea de envase.

La central de lubricación es objeto de estudios para investigar cual es el estado, las especificaciones, los requerimientos etc. En el mundo las centrales de lubricación son una de las maneras más efectivas de optimizar procesos en las maquinas o sistemas. Por lo que es necesario investigar diferentes experiencias y analizar el benchmarking de las industrias existentes, esto nos contribuye a expandir los conceptos necesarios para hacer de la central de lubricación un proyecto de alto rendimiento y óptimos resultados.

Posteriormente es necesario investigar sobre las propuestas de rediseño para saber cuáles son las mejores características para los requerimientos del sistema y con esto evaluar las variables necesarias para satisfacer estas características de funcionamiento.

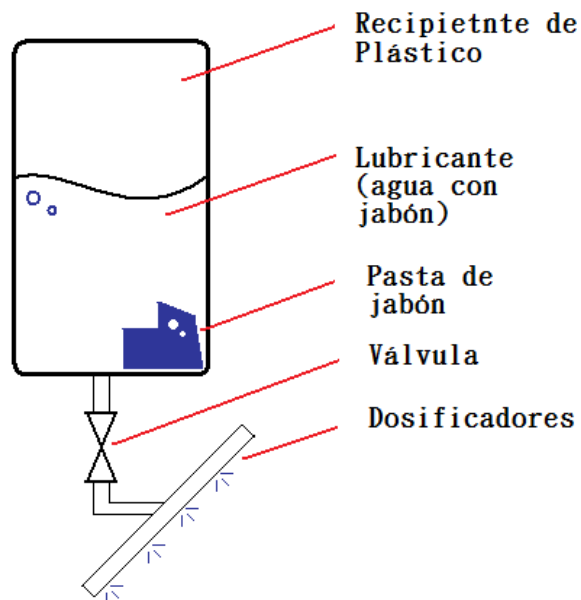
El principio de funcionamiento de una central de lubricación es utilizar una bomba para repartir lubricante desde un depósito central hacia los puntos de lubricación de forma completamente automática. Este sistema dosifica las cantidades necesarias para satisfacer el buen funcionamiento del sistema o maquinaria. Todos los puntos de lubricación alcanzados reciben el suministro óptimo de lubricante, reduciendo el desgaste por fricción. Como consecuencia se incrementa considerablemente la vida útil de la maquina o sistema y a su vez reduce el consumo de lubricante.

### 3. ESTADO DEL ARTE

#### 3.1 ANTECEDENTES

Desde un principio cuando llegaron los transportes inoxidables la dosificación de agua jabonosa se utilizaba para permitir la buena relación entre el envase de vidrio y los transportes de acero inoxidable. La dosificación hace 40 años estaba conformada por un recipiente de plástico sostenido por una estructura a cierta altura y conectado a una manguera con una válvula y unas duchas. El recipiente se alimentaba manualmente por un operario que revisaba periódicamente el estado del líquido y el jabón era una pasta que se disponía en el fondo del recipiente.

Figura 1. Sistema de lubricación recipiente con jabón



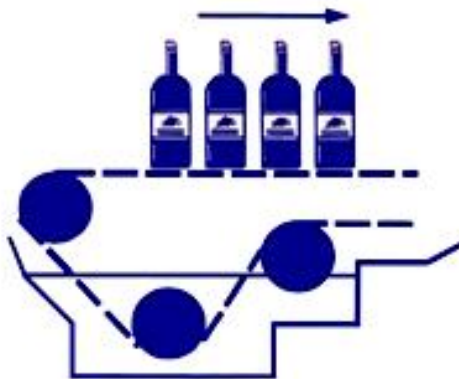
Después de un tiempo la lubricación consistía en una dosificación de agua directamente del suministro a la línea y el lubricante o jabón se aplicaba por goteo en los puntos necesarios.

Figura 2. Lubricación por goteo



Luego este método de lubricación se cambió para lubricar el seno de la cadena, esto consiste en sumergir la cadena en el lubricante constantemente y mientras se mantiene en movimiento la cadena se lubricaba.

Figura 3. Lubricación por seno de la cadena.

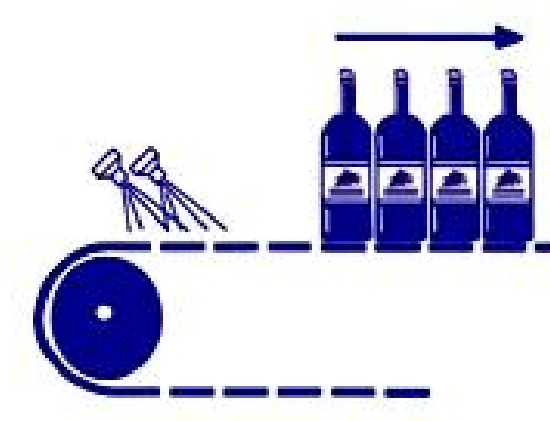


Después de esto se estudió la manera de optimizar y asegurar la lubricación en todos los puntos de envase así que se optó por tener una central de lubricación donde se bombeara constantemente el lubricante por medio de



aspersores y así asegurar que este llegara a los lugares más necesarios de los trenes de envase. Así nació la idea de constituir una central de lubricación.

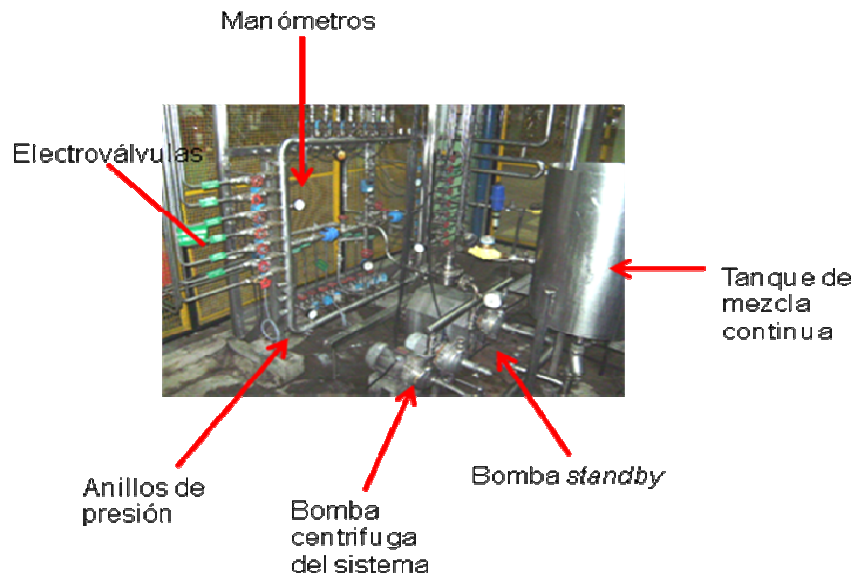
Figura 4. Lubricación por aspersión.



Luego llego otro tipo de transportes más modernos y con esto vino un cambio estructural donde se dividió la lubricación por sectores esto para organizar el sistema de lubricación y controlar los consumos por sector.

Años más tarde llegaron unos transportes más modernos (Los actuales) en acero inoxidable 306 en este momento se implementó un sistema automatizado para controlar los tiempos en la dosificación y se instaló también un sistema de anillo de presión en la salida de la bomba donde se homogenizaría la presión en todas las líneas y con esto asegurar el sistema este siempre estable y que la dosificación llegara a todos los puntos necesarios.

Figura 5. Sistema de lubricación actual



### 3.2 FRICCIÓN

La fricción y el desgaste se encuentran siempre presentes en los sistemas y las máquinas. El rozamiento crea una pérdida de energía mecánica (potencia) perjudicial para el mecanismo y que se traduce en un calentamiento de las piezas que estén en contacto, ocasionando desgaste y deformaciones, y eventualmente adhesión. En reposo el rozamiento se traduce en un fenómeno de adherencia, que conviene reducir para disminuir los esfuerzos necesarios para la puesta en movimiento. El rozamiento afecta a todos los movimientos relativos entre las piezas.

#### 3.2.1 Definición de fricción.

Se define fricción como una fuerza resistente que actúa sobre un cuerpo, que impiden o retarda el deslizamiento de un cuerpo respecto a otro o superficie que estén en contacto. Esta fuerza siempre es tangencial a la superficie en los puntos de contacto con otros cuerpos, y tiene un sentido tal que se opone

al movimiento posible o existente del cuerpo respecto a esos puntos. Cuando dos superficies están en contacto, siempre se presentan fuerzas tangenciales llamadas fuerzas de fricción están limitadas en magnitud y no impedirán el movimiento si se aplican fuerzas lo suficientemente grandes.

### 3.2.2 Tipos de fricción.

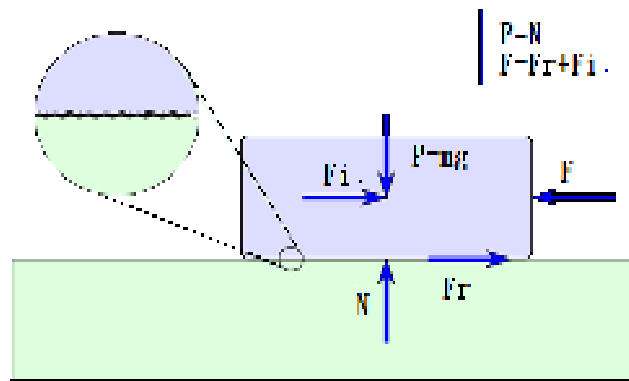
Los dos tipos de fricción que ocurren entre las superficies son:

- Fricción diluida:

Esta se desarrolla entre capas de fluidos que se mueven a diferentes velocidades. La fricción en fluidos es de gran importancia en problemas que involucran el flujo de fluidos a través de tuberías y orificios o cuando se está trabajando con cuerpos que están sumergidos en fluidos que están en movimiento. La cual se da en los casos que cuando las superficies en contacto estén separadas por una película de fluido (gas o líquido).

La naturaleza de la fricción fluida se estudia en mecánica de fluidos, ya que depende el conocimiento de la velocidad del fluido y de la habilidad del mismo para resistir una fuerza constante.

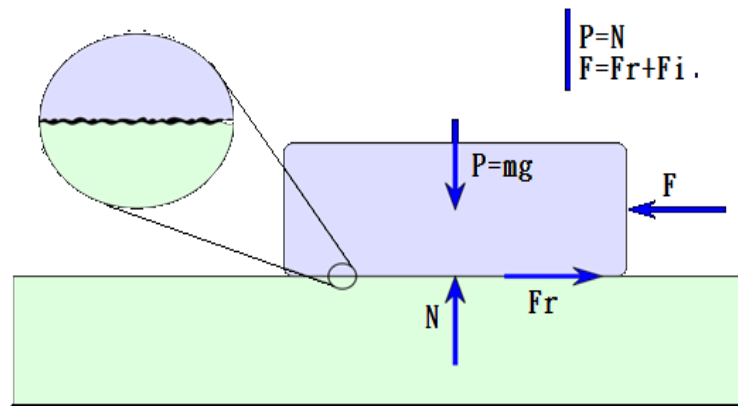
Figura 6. Ilustración fricción diluida.



Fricción seca:

Se denomina a menudo fricción de Coulomb, específicamente la fricción en seco ocurre entre las superficies en contacto de cuerpos rígidos en ausencia de un líquido lubricante. Considerando que los efectos se producen tirando horizontalmente un bloque pesado uniforme  $W$  que descansa sobre una superficie horizontal rugosa.

Figura 7. Ilustración fricción seca.



### 3.3 LUBRICACION

El propósito de la lubricación es la separación de dos superficies con deslizamiento relativo entre sí de tal manera que no se produzca daño en ellas, se intenta con ello que el proceso de deslizamiento sea con el rozamiento más pequeño posible. Para conseguir esto se intenta, siempre que sea posible, que haya una película de lubricante de espesor suficiente entre las dos superficies en contacto para evitar el desgaste.

El lubricante en la mayoría de los casos es aceite mineral. En algunos casos se utiliza agua, aire o lubricantes sintéticos cuando hay condiciones especiales de temperatura, velocidad, etc.

#### 3.3.1 Tipos de lubricación.

Dentro de la lubricación se distinguen tres principales tipos de lubricación estos son:

- Lubricación hidrodinámica

La lubricación hidrodinámica es la separación de componentes por un colchón de aceite que se forma hidrodinámicamente. En un motor, la mayoría de la lubricación de los cojinetes es proporcionada por este colchón hidrodinámico. Cuando la quema de combustible empuja para abajo el pistón contra su biela y el cojinete para forzar el giro del cigüeñal, necesitamos un colchón de aceite para reducir la fricción y el desgaste. La formación de la película hidrodinámica depende de la geometría, velocidad de la máquina, la carga que lleva y la viscosidad del aceite. En un motor, también depende de la presión del aceite y la condición del filtro de aceite.

Características:

- Las superficies están separadas por una película de lubricante que proporciona.
- Estabilidad.
- No se basa en introducir lubricante a presión (puede hacerse), exige un caudal de Aceite, la presión se genera por movimiento relativo.
- Se habla también de lubricación de película gruesa, fluida, completa o perfecta.

Lubricación límite.

En este tipo de lubricación (de película delgada, imperfecta o parcial) más que la viscosidad del lubricante es más importante la composición química.

Consiste en suministrar presión elevada a unas cavidades situadas en el cojinete que soporta el eje, independientemente de que gire o no. Se emplea también para soportar una superficie plana (guías hidrostáticas). Se obtiene introduciendo a presión el lubricante en la zona de carga para crear una película de lubricante.

La película de lubricante es tan fina que existe un contacto parcial metal-metal. La acción resultante no se explica por la hidrodinámica. Puede pasarse de lubricación hidrodinámica a límite por caída de la velocidad, aumento de la carga o disminución del caudal de aceite.

Características:

- No es necesario el movimiento relativo entre las superficies.
- Se emplea en cojinetes lentos con grandes cargas.
- Puede emplearse aire o agua como lubricante.

- Lubricación hidrostática

Consiste en suministrar presión elevada a unas cavidades situadas en el cojinete que soporta el eje, independientemente de que gire o no. Se emplea también para soportar una superficie plana (guías hidrostáticas). La presión de alimentación está en el rango 1-10 Mpa..

Ventajas de la lubricación hidrostática:

- Las superficies están separadas por una capa de lubricante incluso a velocidad cero: fricción en arranque mínima y desgaste nulo.
- Se asegura en todas las condiciones una capa gruesa de lubricante que evita contacto, no hay influencia de las micro rugosidades y ondulaciones (como ocurría en la lubricación límite).
- Se consiguen cojinetes más rígidos que los hidrodinámicos: se verá que  $h$  varía con  $W^{1/3}$  mientras que en el segundo caso la variación es con  $W^{1/2}$ . Se pueden diseñar cojinetes de rigidez infinita o que aumenten el espesor de película con la carga. Ver figura 8.

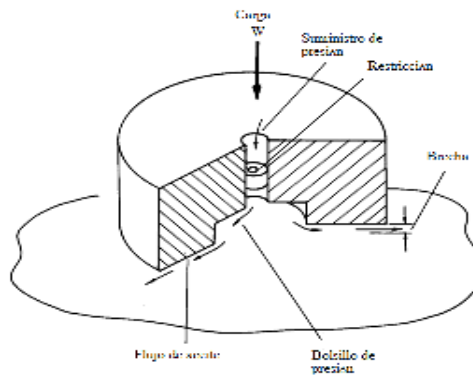
Desventaja de la lubricación hidrostática:

- Incremento del coste económico.
- Peligro que puede suponer para la instalación un fallo en el suministro del lubricante a presión.
- Necesidad de un filtrado muy exigente del fluido

Aplicaciones:

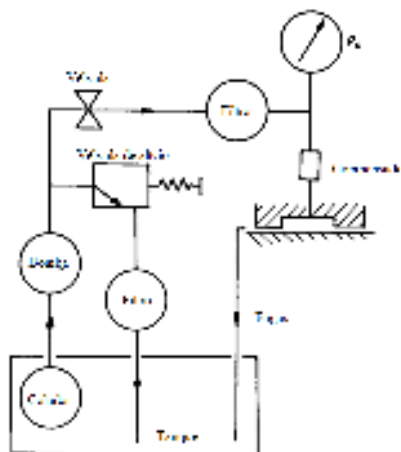
- Por necesidad de disminuir el par de arranque en grandes máquinas, turbinas, etc, hasta alcanzar el régimen hidrodinámico.
- Sustentación de elementos de grandes dimensiones con muy bajo rozamiento y gran precisión de movimiento. (p.ej. telescopio).

Figura 8. Ilustración lubricación hidrostática.



(VIÑOLAS, 2002)

Figura 9. Esquema central de lubricación



(VIÑOLAS, 2002)

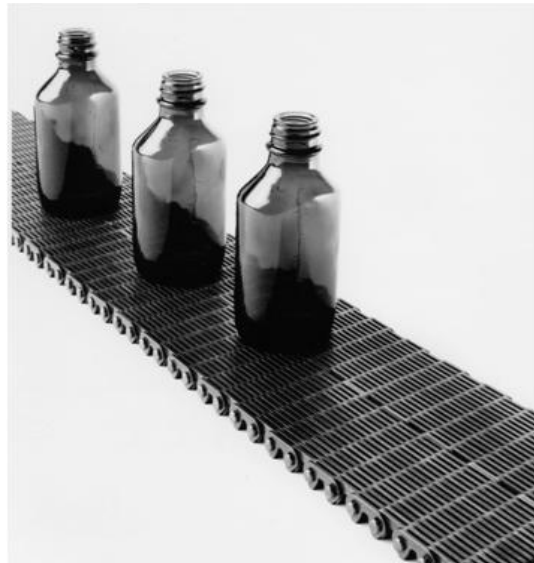
### 3.4 CADENAS PLANAS PARA TRANSPORTE DE BOTELLAS

En la década de 1920 y 1930, las principales mejoras se hicieron por culpa de la producción de alimentos y bebidas. La introducción de alta velocidad en los equipos de procesamiento, llenado, envasado condujo a un suplir una necesidad con una cadena de superficie plana para el desempeño y manejo



de materiales. La primera clase de cadena plana fueron simplemente placas de acero soldadas a cadena de rodillos, lo que resultara en una superficie plana que será capaz de transportar productos o paquetes. El primer principio de cadena transportadora de bisagra de tipo global se introdujo en 1935. Se hizo de una serie de placas planas con rizado en cada una de las partes que forman la parte exterior de una bisagra. Los *pins* se insertan en los agujeros de las placas rizadas para hacer un transporte de cadena con el plano superior cubierto que podría dirigir productos en una dirección. Estos primeros principios de cadenas planas de transporte eran elaboradas en carbono y resistentes a la corrosión del acero y se utilizó ampliamente en la industria cervecera para transportar botellas de vidrio.

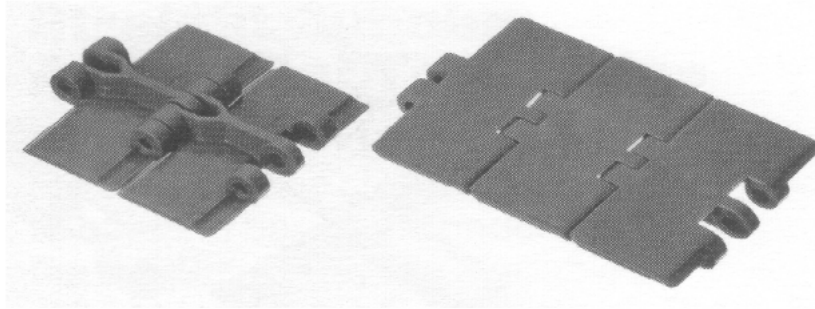
Figura 10. Típica unidad de cadena silenciosa



(Wright, 2006)

La evolución de la industria de alimentos y bebidas en su necesidad de encontrar materiales diferentes al acero para elaborar las cadenas planas de transporte, dirigió su mirada al plástico y así en 1960 se utilizan cadenas planas en este material.

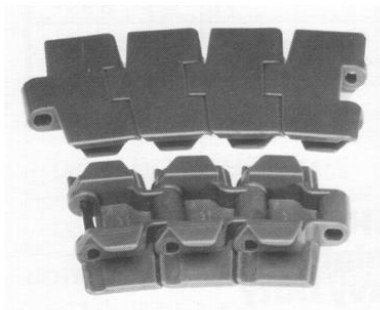
Figura 11. Cadena plana plástica



(Wright, 2006)

El funcionamiento de las cadenas unidireccionales, bisagras, cadenas planas, dientes y *sprockts* están normalizadas en B29.17M ASME. Una cinta transportadora recta no siempre es posible, eso debido a procesos de flujo obstáculos en la planta etc. Por esto las cadenas de flexión lateral se desarrollan para poder manejar todas estas adversidades, estas cadenas se basan en los diseños de dirección derecha, pero tiene más limpieza en la articulaciones que permiten atravesar las curvas en una u otra dirección. Las cadenas de flexión lateral no están en ningunas normas ANSI.

Figura 12. Cadenas planas flexibles.



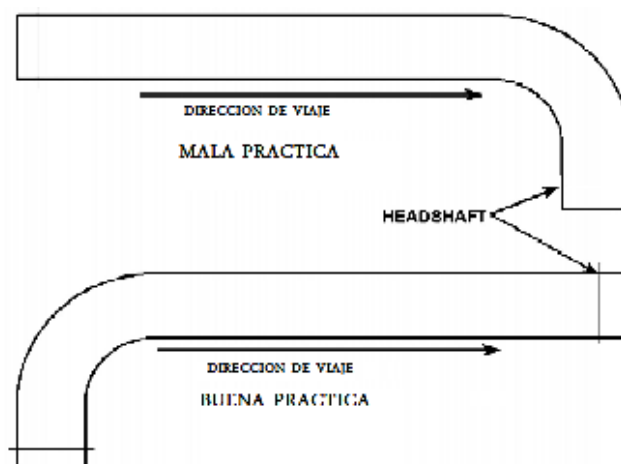
(Wright, 2006)

- Diseño de transportes.

Una cadena plana en su funcionamiento recto es un diseño usualmente simple, muy eficiente, y menos costoso, y puede ser usado cuando sea posible. Como sea, las partes de la maquina pueden estar en la línea y otras partes del proceso pueden no estarlo, en ese caso no se usa un transporte de funcionamiento recto, una de las maneras de cambiar de dirección es con cadenas planas cortas y otras con una cadena plana flexible, esta última es mucho más eficiente para los transportes flexibles pueden ofrecer algunas ventajas, el costo de motores adicionales ruedas dentadas entre otras son eliminadas.

Los diseños necesitan unas pocas guías cuando se usan las cadenas planas flexibles. Usa pocas esquinas con un ángulo en lo posible corto, usa prolongados radios de giro como sea posible. Usa lubricación en las esquinas para reducir la fricción y el desgaste, y utilice el motor conductor lo más lejos posible de la esquina anterior.

Figura 13. Diseño de transportes planos.

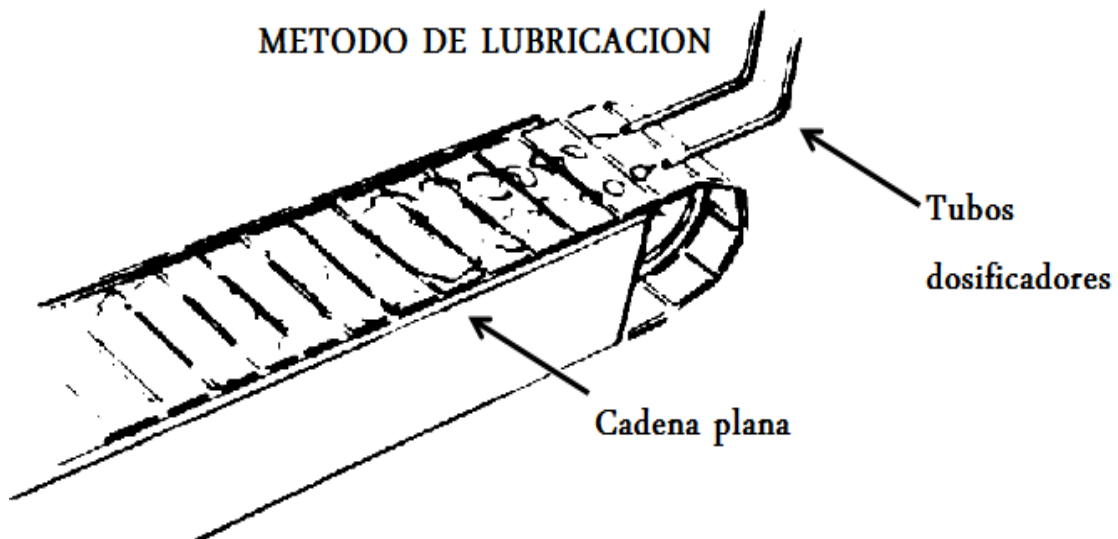


(Wright, 2006)

- Lubricación en las cadenas planas

La lubricación es muy importante en cualquier sistema que por principio este sometida a fricción y desgaste, en el caso de las cadenas planas la lubricación se utiliza tanto para evitar el desgaste como para evitar el ruido, no obstante la lubricación en algunos casos no es necesaria. La lubricación en cadenas planas puede lubricarse como algunas cadenas de transportes, pero en general este tipo de cadenas planas requiere unas características especiales. La lubricación reduce la fricción el desgaste y aumenta la vida útil. La mayoría de cadenas se lubrica como se ilustra a continuación.

Figura 14. Método de lubricación para las cadenas planas

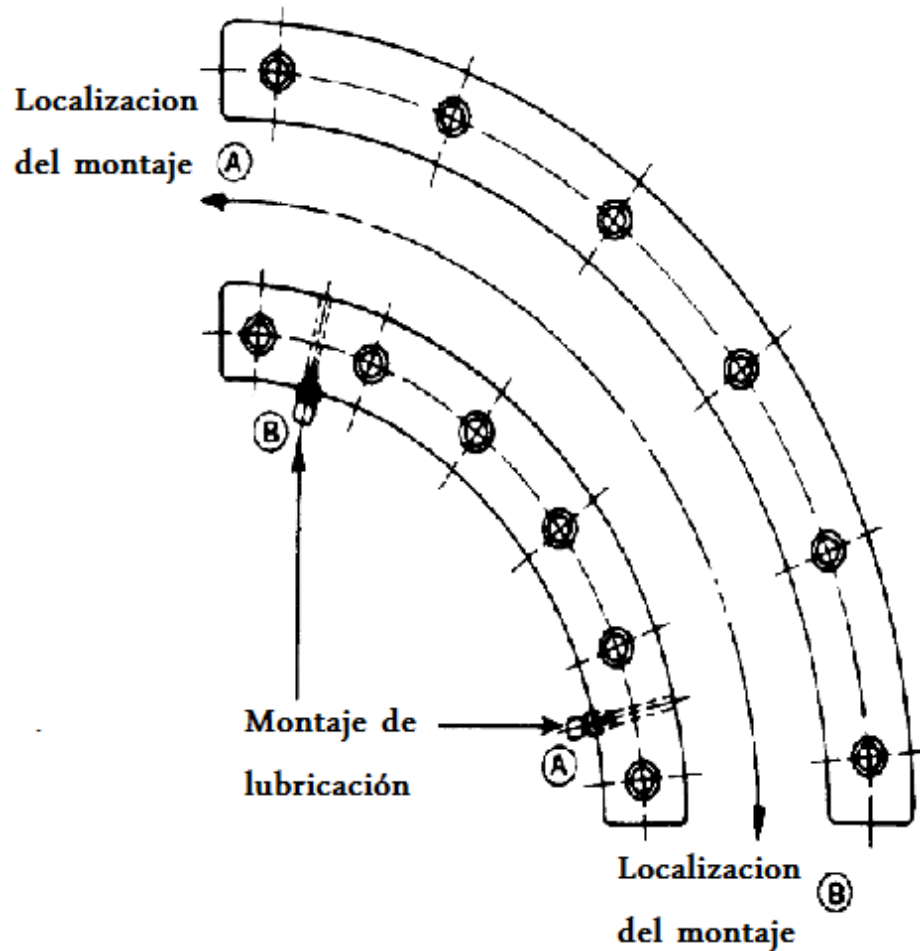


(Wright, 2006)

Al igual que los demás tipos de cadenas las cadenas planas deben llevar buena lubricación en las articulaciones, pero aun más importante es lubricar entre los platos y las tiras del desgaste esto en la parte superior. Si el sistema lo permite es bueno asegurar la lubricación entre el producto y las cadenas y más en los lugares de mayor acumulación del producto. En las cadenas planas flexibles es importante que la lubricación se ubique en las

esquinas, esto debido al desgaste que sufre el sistema de transporte en esos puntos específicamente.

Figura 15. Puntos ideales de lubricación



(Wright, 2006)

La lubricación también es importante para permitir una máxima velocidad de operación esta velocidad está limitada a 300ft/min (1.5m/s).

En la siguiente tabla esta la información con las recomendaciones de lubricación según los materiales la constitución de los transportes y el material transportado.

Figura 16. Tabla para selección de material.

material del la cadena	Acero al Carbón		Acero inoxidable		Nylon	
	abrasivo		abrasivo		Abrasivo	
Producto transportado	Presencia	ausencia	Presencia	ausencia	Presencia	ausencia
	lubricado con aceite		lubricado con agua y jabón		solo con agua	
Plástico, Papel, Latas	A	A	R	A	A	R
vidrio, Botellas, Cerámicas	A	A	R	A	N	R
Partes de Metal	R	R	A	A	N	A
	NO LUBRICADO		NO LUBRICADO		NO LUBRICADO	
Plástico, Papel, Latas	R	A	A	A	N	R
vidrio, Botellas, Cerámicas	R	A	A	A	N	R
Partes de Metal	R	R	A	A	N	A
R: Recomendado	A: aceptable	N: no recomendado				

(Wright, 2006)

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Rediseñar el sistema de lubricación centralizado para el sistema de transportes de botellas en uno de los trenes del salón de envase de una empresa de bebidas

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

#### 4.2.1 Objetivo 1.

Conocer los principios de funcionamiento y las generalidades del sistema centralizado de lubricación actual para el transporte de botellas.

#### 4.2.2 Objetivo 2.

Identificar las oportunidades de mejora a partir de la definición de las necesidades técnicas del sistema de lubricación centralizado para el transporte de botellas.

#### 4.2.3 Objetivo 3.

Seleccionar la mejor alternativa según el conjunto de necesidades del tren de envase escogido y evaluar su viabilidad económica.

#### 4.2.4 Objetivo 4.

Implementar el plan de acción elegido para la optimización del sistema centralizado de lubricación.

#### 4.2.5 Objetivo 5.

Concluir respecto a los resultados obtenidos en el proceso de implementación y a la operación del sistema.

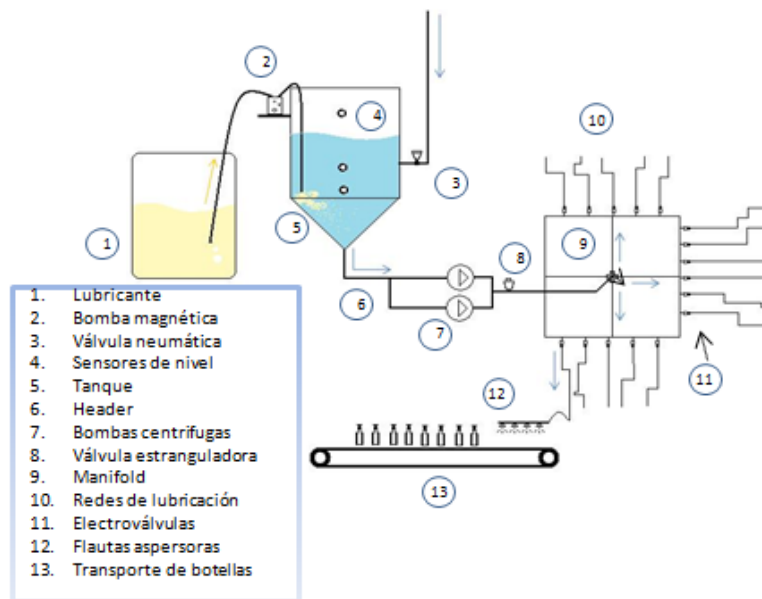


## 5. GENERALIDADES DEL SISTEMA

El sistema de lubricación de transportes de botellas es un sistema centralizado que envía el lubricante a 3 líneas de producción, cada línea tiene unas características diferentes en cuanto a la presión requerida por longitud y posicionamiento de las tuberías, estas abastecen de solución lubricante los transportes del proceso de envase.

El proceso de lubricación de cadenas planas comienza en la central, el agua suministrada entra al sistema y es controlado por una válvula neumática que es accionada por la señal de un sensor de nivel, el agua es almacenada en un tanque donde se dosifica lubricante por medio de una bomba de impulsos magnéticos, luego de la mezcla la solución almacenada en el tanque pasa por un *header* que se bifurca hacia dos bombas una de ellas funciona como *bypass*.

Figura 17. Esquema proceso del sistema de lubricación



La solución pasa por una bomba centrífuga principal del sistema que envía la solución lubricante a un *manifold* que reparte la solución a las diferentes líneas de envases. Luego de pasar por el *manifold* la solución lubricante pasa por el anillo de presión donde están ubicadas las electro válvulas que se abren y cierran según los tiempos asignados en el PLC, después viaja por un complejo de tuberías acondicionadas en el entorno de los transportes hasta llegar a las duchas de lubricación estas duchas contienen unos aspersores que dosifican en forma de abanico sobre la superficie plana de la cadena de transportes.

En general el sistema cuenta con elementos primordiales para su funcionamiento, estos son:

1. Flautas de aspersion
2. Tanque de homogenización o alimentador
3. Bomba de solución
4. Bomba dosificadora
5. Regulador de presión
6. Válvula neumática
7. Sensores de nivel
8. *Manifold* de distribución
9. Redes de distribución
10. Electro válvulas
11. Control.

Figura 18. Sistema central de lubricación

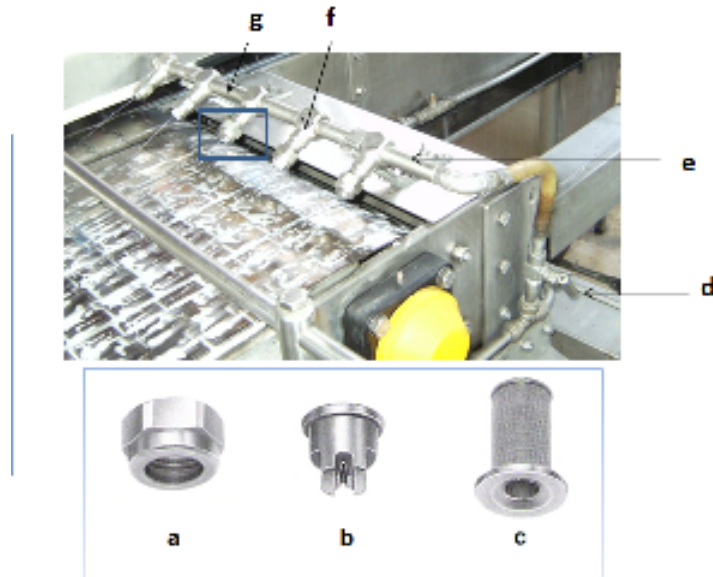


#### 5.1 FLAUTAS DE ASPERSIÓN.

Las flautas de aspersion son las piezas del sistema donde finaliza el proceso de transporte de lubricante y comienza el de la lubricación de los transportes. A estas flautas llega la solución del lubricante con una presión caudal y concentración especifica que posteriormente vierte el lubricante en forma de abanico por el efecto que causa en este la boquilla aspersora en las cadenas de transporte de botellas. Las flautas están conformadas por:

- a. Rosca sujetadora
- b. Boquillas dosificadoras
- c. Filtro tamiz
- d. Porta boquillas
- e. Válvula de control
- f. Cuerpo de aspersion
- g. Tubo acero inoxidable.

Figura 19. Partes de una flauta



## 5.2 TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN.

Este tanque se encarga de almacenar la solución de lubricante y agua que posteriormente se utiliza para el funcionamiento de la bomba centrífuga. El lubricante es provisto por una bomba dosificadora y el agua por el suministro de la red interna de la empresa.

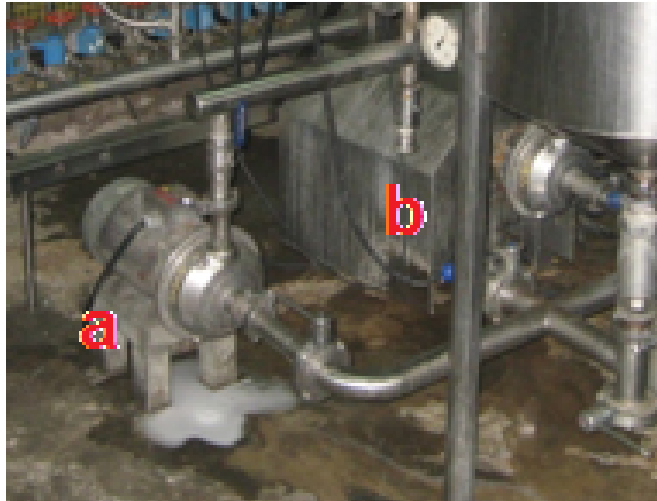
El tanque está construido en acero inoxidable y para su funcionamiento posee unos sensores de nivel que aseguran el continuo paso de solución a la bomba del sistema

## 5.3 BOMBA DE SOLUCIÓN.

La bomba envía la solución que llega a este desde el tanque de almacenamiento y luego pasa por el *manifold* para posteriormente enviar por los conductos de las líneas de envasado.

el sistema cuenta también con una bomba *bypass* con las mismas características ubicada en un extremo y conectada con un *header*

Figura 20. Bombas del sistema



a. Bomba del sistema

b. Bomba bypass

Tabla 1. Características de la bomba.

Marca carcasa (impeler)	G&L pumps
Referencia carcasa	NPS 1.1/4x1-6
Marca motor	Siemens
Potencia	1.2 Hp
Factor de seguridad	1.05
Amperios	2.0/4.0
Revoluciones	3400rpm

#### 5.4 BOMBA DOSIFICADORA.

Esta es una bomba de impulsos magnéticos que dosifica por medio de pulsos, Esta es la encargada de transportar el lubricante contenido desde su lugar de almacenamiento hasta el tanque de solución, la bomba posee un control que permite regular el paso del lubricante al tanque y con esto obtener la concentración requerida en el sistema.

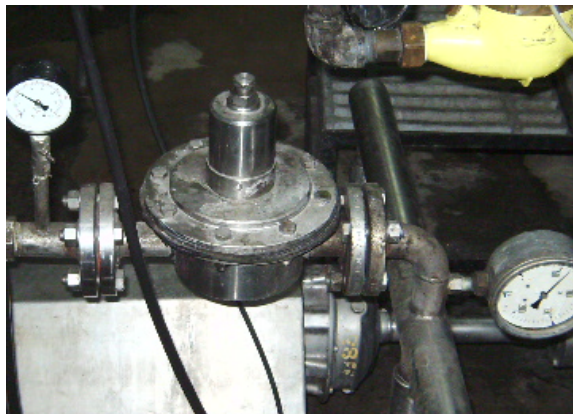
Figura 21. Bomba de dosificación.



#### 5.5 REGULADOR DE PRESIÓN

El regulador de presión está ubicado a la salida de la bomba de solución, su función es regular la presión que la bomba genera. Esta presión de salida se regula según la necesidad del sistema.

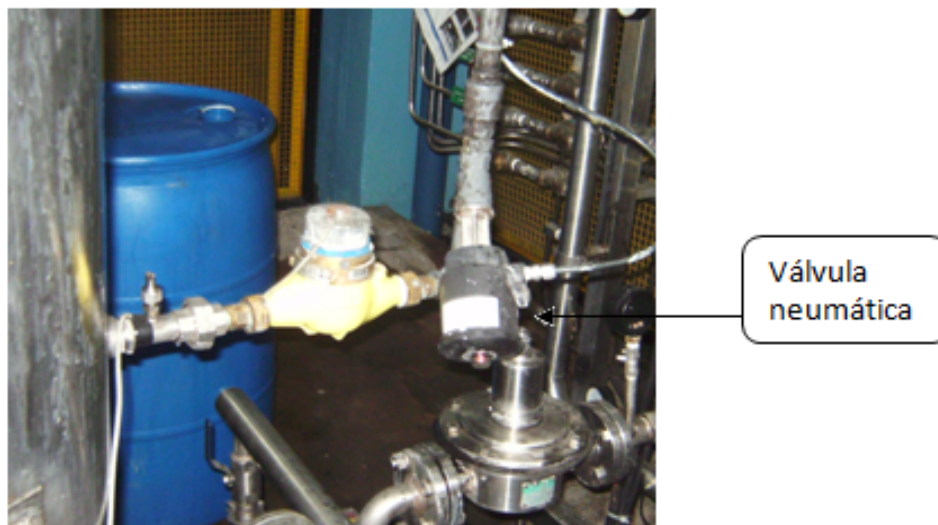
Figura 22. Válvula de estrangulación



## 5.6 VÁLVULA NEUMÁTICA.

La válvula neumática está ubicada en la entrada del tanque de mezcla y es la que permite la entrada del agua potable de suministro, esta es una válvula normalmente cerrada y está controlada por los sensores del tanque, el caudal de entrada es aproximadamente de 100lt/min.

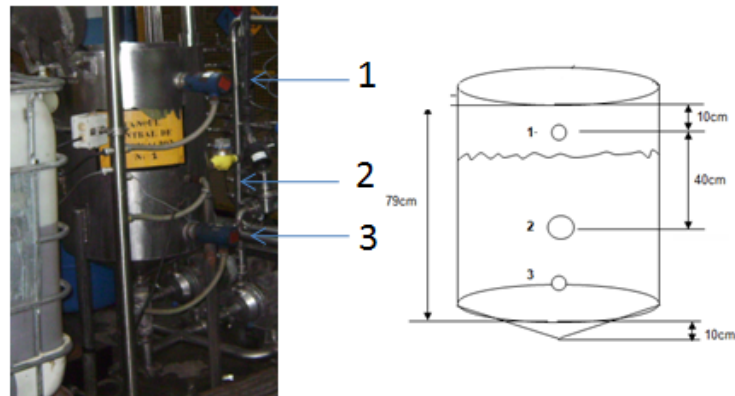
Figura 23. Válvula neumática.



## 5.7 SENSORES DE NIVEL.

Los sensores de nivel están ubicados en el tanque, y funcionan con el principio de flotación. Los sensores 1 y 2 son los encargados de enviar una señal a la válvula neumática para permitir o cerrar el paso de agua potable, también es la encargada de dar la señal a la bomba dosificadora del lubricante. El sensor 3 es el encargado de proteger la bomba y cuando este se activa envía la señal a la bomba para detener su funcionamiento.

Figura 24. Esquema de los sensores de nivel



### 5.8 MANIFOLD DE DISTRIBUCIÓN.

Este elemento se encuentra ubicado en la salida de la bomba de solución a este llega la solución del lubricante para posteriormente distribuirlo a las líneas de envase, este *manifold* tiene 6 salidas una 4 para las líneas de envase una para la entrada proveniente desde la bomba y otra bloqueada.

Figura 25. *Manifold*





### 5.9 REDES DE DISTRIBUCIÓN.

Estas redes llevan el lubricante hacia una zona determinada en las líneas de envase, cada una de estas redes está constituida por tubería  $\frac{1}{2}$ ' de PVC que viaja a través del primer nivel de envase para luego cruzar la loza donde se deja de usar la tubería PVC para usar tubería inoxidable *tubing* con un diámetro de 12 mm y viaja por el entorno de los transportes hasta cada uno de los puntos de dosificación.

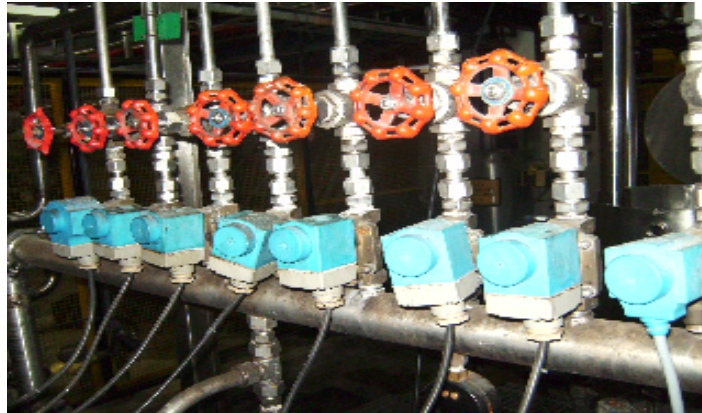
Figura 26. Redes de lubricación



### 5.10 ELECTROVÁLVULAS.

Las electroválvulas están ubicadas a la salida de cada ramal, son válvulas normalmente abiertas y estas se utilizan para controlar los tiempos de lubricación en cada sector y así satisfacer las necesidades del sistema en cada punto.

Figura 27. Electroválvulas.



#### 5.11 CONTROL.

El control consta de un sistema de control lógico programable (PLC) capaz de realizar el procesamiento de señales basándose en un programa establecido, posee una interface grafica para la operación. Desde acá se inicia todo el sistema activando las bombas centrifugas y el sistema de redes de las líneas de producción, estas redes están sujetas a los tiempos que se programa en las electroválvulas de cada línea.

## 6. OPORTUNIDADES DE MEJORA.

Las oportunidades de mejoras son el resultado de realizar un diagnóstico completo del estado del sistema mediante un trabajo realizado en conjunto con personal involucrado dentro del proceso de envase y su respectivo análisis.

Durante el análisis se estudian y evalúan varios aspectos referentes al desempeño del sistema. Cada posible aspecto para ajustar se analiza con cuidado y supervisión del funcionamiento de los transportes. Cada aspecto tiene un seguimiento y estos sirven para evaluar el desempeño e identificar oportunidades de mejora en cada uno de ellos.

El sistema de lubricación tiene diferentes componentes que podemos desglosar para buscar alternativas diferentes o ajustes referentes y con esto lograr una mejora en el proceso.

### 6.1 RED DE LUBRICACIÓN EN LA LÍNEA DE ENVASE.

La red de lubricación consta del conjunto de tramos correspondientes a la tubería que se ubica en el entorno de los transportes de botellas a lo largo del proceso de envasado. Las oportunidades de mejoras en esta parte del sistema tienen que ver con las boquillas, y con las fugas en los elementos de control que están ubicados en esta parte del sistema.

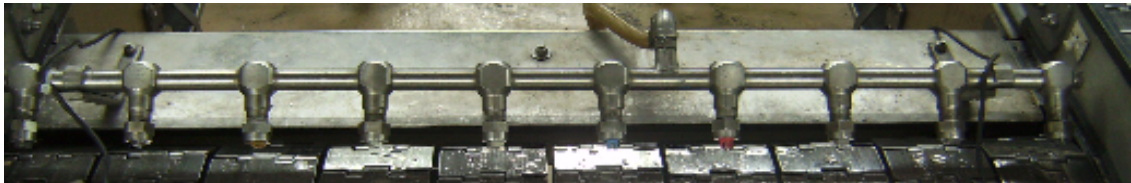
#### 6.1.1 Estandarización de Boquillas aspersoras.

Las boquillas son los elementos que están ubicados al final del sistema y son los encargados de dosificar la solución lubricante, la aspersion de la boquilla forma un abanico que impregna a las cadenas de transporte, dependiendo

de la referencia y la marca de las boquillas estas cuentan con un caudal por unidad de presión.

Se puede observar que en las flautas de dosificación las boquillas aspersoras no tienen la misma referencia, lo que hace difícil controlar la dosificación en los puntos de aspersión, esto debido posiblemente a que durante años el mantenimiento correctivo no tuvo en cuenta este aspecto para la parametrización de las boquillas y no se considero importante.

Figura 28. Flauta con boquillas diversas.



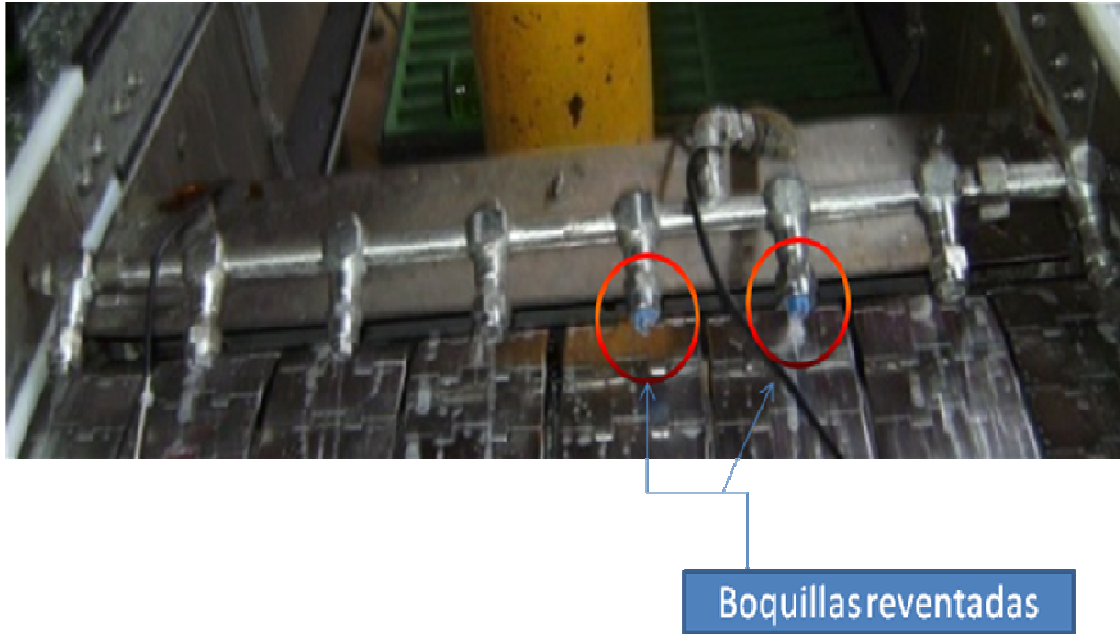
Se puede ver que en las flautas de uno de los sectores existen hasta tres tipos de boquillas, esto no ayuda a la regulación y control del sistema. Existen diferentes tipos de boquillas que se acomodan a las necesidades de cada sector del proceso, este reordenamiento es importante para el control, desempeño y calidad del proceso.

#### 6.1.2 Inspección de las boquillas aspersoras.

Las boquillas son elementos importantes en el desempeño del sistema, ya que, estas son las que proporcionan un caudal a la salida de la solución lubricante dependiendo del diámetro nominal que posea la boquilla, estas otorgan dependiendo del diámetro una presión determinada al sistema. La ausencia de estas impide la presurización normal del sistema y por esta razón, la solución lubricante puede salir con más abundancia por una flauta que por la otra.

El ciclo de trabajo hace que se presente desgaste en los componentes de la línea, en este caso fisuras o deterioro en las boquillas de aspersión; lo que se traduce en el sistema en mayor dosificación de la solución lubricante y con esto podemos prever un consumo mayor en un lugar puntual.

Figura 29. Boquillas en mal estado.



### 6.1.3 Fugas en la red del sistema.

La tubería del sistema de lubricación y los accesorios de las flautas presentan fugas en algunos tramos, las fugas representan pérdidas en dinero sin contar con los problemas de seguridad y aseo, también representan un mal uso de los recursos necesarios para que el sistema tenga un óptimo desempeño, por tal razón, es importante solucionar esta anomalía.

Figura 30. Fugas.



#### 6.1.4 Elementos de control en las flautas.

Los elementos de control de las flautas constan de válvulas que permiten el paso de la solución lubricante a las flautas de aspersion y posteriormente a los transportes otro elementos de control son las boquillas que dependiendo de la referencia permite dosificar un determinado caudal. Dentro del sistema algunas flautas carecen de los elementos de control necesarios para el ajuste de las condiciones necesarias para que el sistema funcione de acuerdo con las exigencias requeridas.

Figura 31. Ausencia de elementos de control.



### 6.1.5 Reordenamiento de redes.

Las redes son un conjunto de tuberías que viajan por el salón de envase y van desde el primer nivel al segundo, existen algunos tramos de este arreglo de tuberías que pueden ser modificados teniendo en cuenta las características técnicas, las condiciones del sector y el lugar donde están ubicadas, esto con el fin de mejorar las condiciones de trabajo del sistema.

### 6.2 ELECTROVÁLVULAS.

Estos elementos son los encargados de controlar los tiempos de dosificación en el sistema de lubricación, las válvulas son normalmente cerradas y se accionan cuando reciben la señal que proviene del control. Están ubicadas al comienzo de los ramales que abastecen el lubricante a lo largo del proceso de envasado.

Figura 32. Electroválvula.



(Danfoss, 2009)

#### 6.2.1 Estado de las válvulas.

El proceso de lubricación está expuesto a residuos sólidos y a sedimentación que puede obstruir con el tiempo las electroválvulas y no permite su normal funcionamiento, por esta causa los tiempos que se programan para accionar las válvulas para el proceso no actúan conforme a las necesidades técnicas del lugar de lubricación. Para el buen desempeño es necesario mejorar el sistema.

### 6.3 LUBRICANTE.

El lubricante que se utilice necesita unas características de dosificación necesarias para satisfacer los estándares de lubricidad y garantizar que los coeficientes de fricción entre la botella de vidrio y los transportes de acero inoxidable no excedan el máximo necesario para su normal desempeño. Así mismo, se necesita un lubricante que no interfiera en la calidad y la asepsia del proceso. Por esta razón, el lubricante a utilizar y su dosificación es importante para el buen desempeño del sistema.

### 6.4 SISTEMA DE BOMBEO.

El sistema de bombeo actual está sujeto a las condiciones del diseño original del sistema. En el sistema de lubricación se observa que el bombeo no es efectivo en algunas zonas del salón de envase, esto debido a las condiciones diferenciales de presión en cada sector donde se ubican las flautas, para algunas de estas zonas la lubricación es deficiente mientras que en otras se observa que la solución lubricante llega en mayor cantidad. Esto se traduce en menor desempeño en los transportes de botellas y en la utilización inapropiada de los recursos en sectores donde las necesidades técnicas del sistema no los requieran.

### 6.5 TIEMPOS DE LUBRICACIÓN.

El proceso de lubricación demanda unos tiempos de dosificación de la solución lubricante dependiendo del sector donde se utilice, estos tiempos se mantienen desde la fecha del año en el que se lleva a cabo la instalación del sistema centralizado de lubricación, pero con el tiempo se dejaron de utilizar y ahora no se tiene un registro. Hay que encontrar algún criterio o parámetro para programar estos tiempos en la lubricación.

Los transportes necesitan unos tiempos de lubricación acordes con el *layout* en el proceso de envasado, estos tiempos dependen también de factores



que involucran físicamente el desempeño del viaje de las botellas de una maquina a otra.

#### 6.6 LIMPIEZA DEL SISTEMA.

El sistema de lubricación no tiene un plan de limpieza a ejecutar cuando el sistema está detenido, por esta razón, en las redes se pueden acumular suciedades del ambiente incrustaciones de la misma tubería, entre otros. Es importante hacer efectivo un plan de limpieza con cierta periodicidad para asegurar el buen estado del sistema, este mantenimiento influye en el buen estado de toda la línea de envase.

Figura 33. Línea de envase.



#### 6.7 REUTILIZACIÓN DE AGUA PARA LA LUBRICACIÓN.

El agua utilizada para la lubricación es potable y es suministrada por la planta de agua de la empresa, esta agua tiene un costo de uso y otro costo vertimiento. Las características del agua son básicas y se puede estudiar un

método para la reutilización del agua del proceso cervecero en la lubricación por medio de un tratamiento, y con esto reducir el costo de uso de agua para la lubricación.

Figura 34. Solución agua lubricante.



## 7. SOLUCIONES DE MEJORA Y SU EVALUCION ECONOMICA.

### 7.1 RED DE LUBRICACIÓN EN LA LÍNEA DE ENVASE.

La red de lubricación es el elemento más extenso del sistema y como tal el trabajo de supervisión y control es arduo, además está compuesto por una gran cantidad de componentes que pueden comprometer el funcionamiento del sistema de lubricación.

#### 7.1.1 Estandarización de Boquillas aspersoras.

La estandarización de las boquillas es importante, ya que, la homogeneidad en el caudal de aspersión tiene que variar lo menos posible en un punto de aspersión y esto se hace con boquillas de las mismas características. El tipo de boquillas tiene una relación con el sector donde se ubican estos elementos dentro del proceso de envase. Existen lugares donde la dosificación tiene un mayor caudal debido a las características que esta zona presenta.

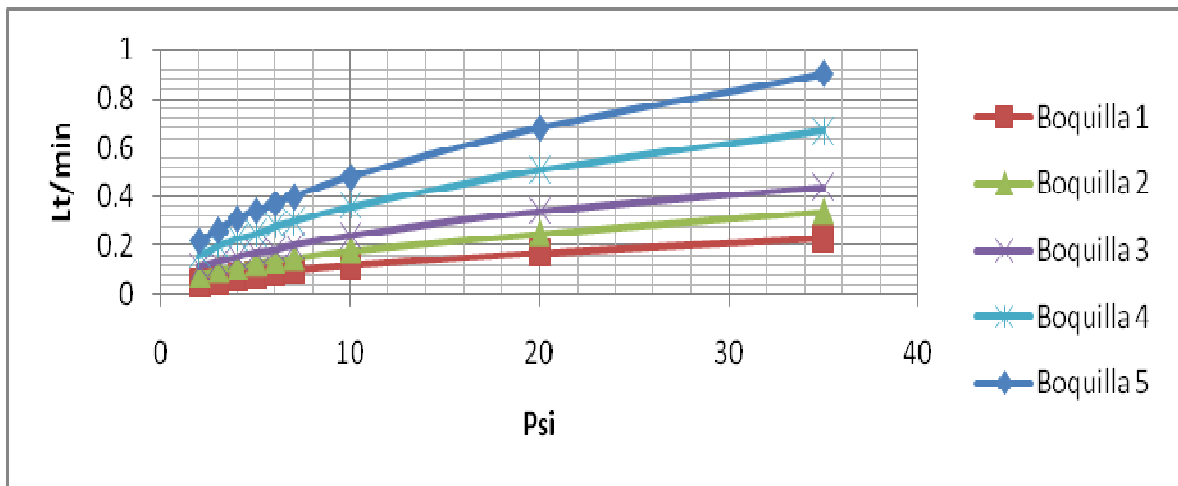
El orden de las boquillas es un aspecto notable debido a que los transportes se encuentran ubicados en diferentes zonas del proceso de envase y por lo tanto expuestos a diferentes condiciones de trabajo. Las boquillas tienen unas características de caudal y presión diferentes, que se pueden acomodar a las diferentes condiciones y características del lugar donde se necesite la dosificación.

Según el lugar donde se ubique la flauta de dosificación, sus boquillas deberán tener ciertas características técnicas, en este caso se analizan principalmente cinco tipos de boquillas para las necesidades del sistema.

Tabla 2. Propiedades Boquillas de Aspersión

N°	Diámetro del Orificio (mm)	Caudal (Lt/min) a 2 bares	Malla de tamiz recomendado ( $\mu$ )	Angulo de aspersión
Boquilla 1	0.28	0.05	200	65°
Boquilla 2	0.33	0.08	200	65°
Boquilla 3	0.38	0.11	200	65°
Boquilla 4	0.46	0.16	200	65°
Boquilla 5	0.53	0.22	100	65°

Figura 35. Curva caudal de boquillas

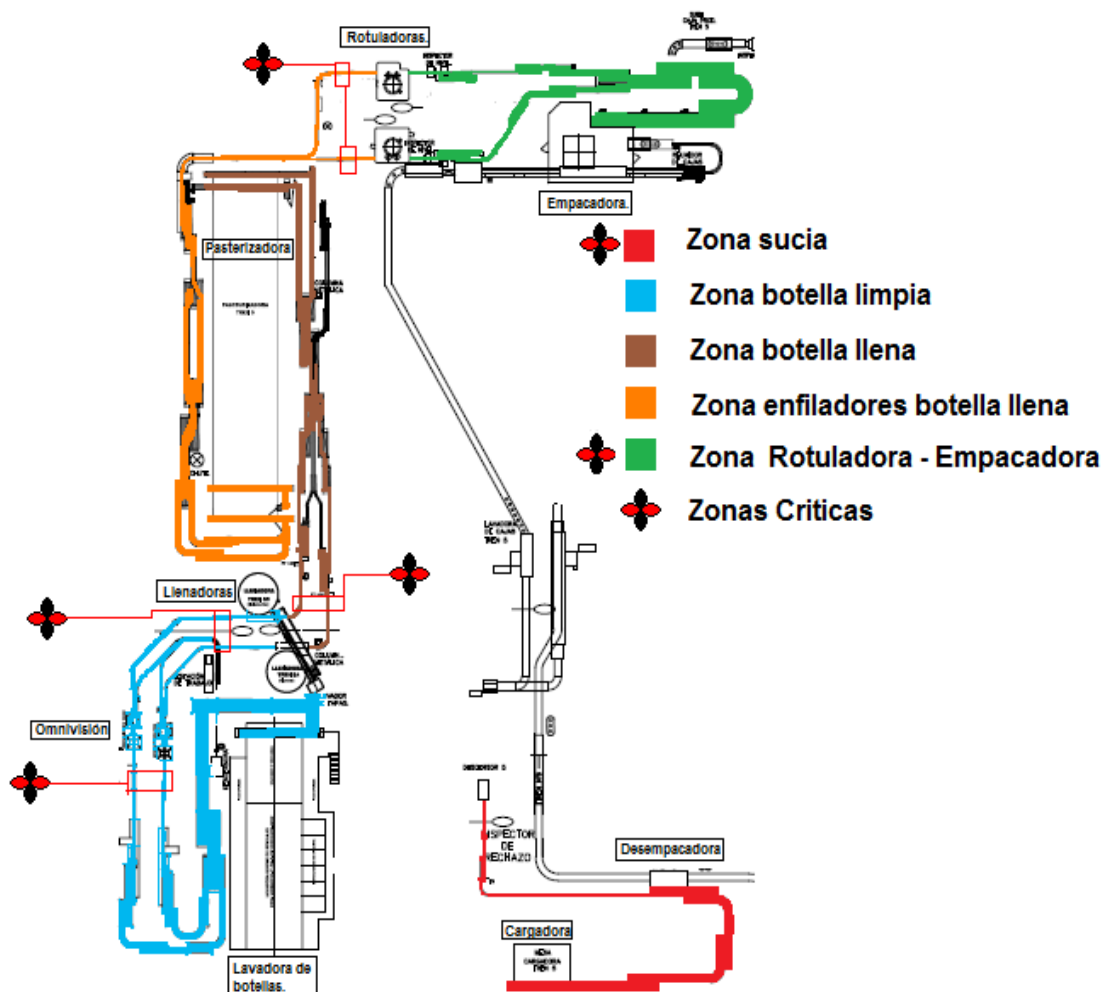


Para el análisis de caudal de lubricación se toman los diferentes sectores y características de estos para crear un criterio de lubricación en estas zonas, con esta información recopilada identificamos cuales de ellas son las más críticas.

Las zonas características del proceso se dividen básicamente en 5 sectores, estos son:

1. Zona sucia
2. Zona de botella limpia
3. Zona botella llena
4. Zona Enfiladores botella llena
5. Zona rotuladora – Empacadora

Figura 36. Esquema zonas de dosificación



Zonas críticas:

❖ Desempacadora – cargadora

Esta zona se le llama también zona sucia, está ubicada antes del proceso de lavado de botellas es un sector caracterizado por acumular polvo, tierra y algún tipo de residuo sólido, por tal motivo la el efecto del desgaste por fricción es mayor que en otras zonas, este desgaste afecta botellas cadenas, transportes y maquinas. Ya con estas características podemos justificar un consumo considerable de solución en las cadenas de este sector.

❖ Entrada proceso de rechazos.

Esta hace parte de la zona limpia y por lo tanto no necesita una alta dosificación de lubricante, en la entrada para el proceso de rechazo de envase la dosificación debe ser mínima ya que la excesiva espuma hace que la maquina rechace botellas aptas para el proceso.

❖ Enfiladores llenadoras - Salida llenadoras

En esta zona se presenta un fenómeno de gran relevancia, por causa de las fugas producidas por el proceso de envase el lubricante es neutralizado por estos productos ya sea cerveza o malta, por tal motivo en este sector es indispensable una buena lubricación. En esta zona es muy común que no haya presencia de boquilla aspersora para permitir más flujo de lubricante lo que ocasiona una pérdida de presión en el sistema.

❖ Entrada rotuladora

Para el proceso de rotulado es necesaria una buena lubricación para la entrada de los envases al tornillo sinfín, pero también es problema el uso excesivo ya que esto puede perjudicar el etiquetado en los envases.

❖ Mesa de acumulación empacadora.

Esta es la mesa ocurre algo muy particular ya que es necesario una buena lubricación, este es el tramo que más peso soporta, la botella viaja con el producto terminado y estas se acumulan para el posterior proceso de empacado. En este sector es importante la buena lubricación pero no una lubricación excesiva ya que la solución lubricante puede ocasionar daños en la etiqueta de la botella y por esto en la presentación del producto final.

De estas zonas podemos tener un criterio para organizar la ubicación de las boquillas en el salón de envase, para esto se sugieren dos tipos de boquillas.

Tabla 3. Tipo de boquillas por zona.

Zonas del Sistema	Boquillas sugeridas	
	Boquilla 1	Boquilla 2
Zona sucia	4	5
Zona de botella limpia	1	2
Zona de botella llena	3	4
Zona Enfiladores de botella llena	3	4
Zona de empacadora	4	
zonas criticas	Boquilla	
Enfiladores llenadoras - salidas llenadoras	5	
Entrada rotuladoras	5	
Entrada proceso de rechazos	1	

7.1.2 Inspección de boquillas aspersora.

En la inspección de las boquillas se identifican los diferentes tipos de problemas que afectan la normal aspersion, el buen estado de las boquillas

depende en gran parte el buen desempeño del sistema y la optima utilización de recursos. Estos problemas pueden estar relacionados con:

- Boquillas reventadas.
- Flautas sin boquillas
- Boquillas taponadas.
- Boquillas deshabilitadas.
- Boquillas de otras referencias

Todos estos elementos hacen parte de una serie de anomalías en las boquillas que no permiten la optima aspersion en los transportes, propiedades como la presión o la dirección de aspersion pueden ser afectados por estas irregularidades, también el abanico de aspersion se afecta cuando se presentan los problemas antes mencionados.

En la tabla se muestran en resumen la cantidad de boquillas que se tienen con inconvenientes.

Tabla 4. Boquillas con problemas

<b>Tipo de problema</b>	<b>Cantidad</b>
Boquillas reventadas	4
Boquillas Taponadas	47
Boquillas deshabilitados	36
No poseen boquilla	5
<b>Total boquillas con problemas</b>	<b>92</b>



Las boquillas con irregularidades se deben cambiar por unas nuevas o si es el caso hacerle el mantenimiento respectivo para su posterior uso en el sistema.

### 7.1.3 Fugas en la red del sistema.

Las redes de lubricación están conformada por metros de tubos que pasan por el entorno de los transportes, en estas longitudes tan extensas es común encontrarse con fugas. En una inspección visual de las tuberías se identificaron diferentes tipos de fugas, fugas en las mangueras de las flautas dentro del conjunto de boquillas de aspersion, fugas en el acople del la flauta con el conjunto de boquillas, fugas en acoples, fugas en codos. En su mayoría las fugas eran causadas por empaques deteriorados y mangueras deterioradas por el tiempo de trabajo.

A continuación vemos los resultados de la inspección de las fugas en las redes del sistema.

Tabla 5. Resultado inventario de fugas.

<b>Flautas con fuga</b>	
<b>MAQUINA</b>	<b># de flautas</b>
Desempacadora	2
Cargadora	1
Llenadora B	2
Pasterizadora	2
Rotuladora A	1
Rotuladora B	1
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>

Estas fugas se corrigen dependiendo del problema pero lo normal es que fallen los empaques, abrazaderas deterioradas, mangueras cristalizadas o desajustes en las flautas etc.

#### 7.1.4 Elementos de control en las flautas de lubricación.

Las flautas de lubricación son los elementos que finalizan el proceso de lubricación y los elementos de control en las flautas son importantes para el manejo adecuado de la dosificación, en su mayoría las flautas del sistema válvulas que controlan el flujo, este tipo de válvulas presentes en el sistema son tipo aguja pero en algunos sectores la ausencia de estos son una realidad.

En una inspección para hacer un inventario de estos elementos encontramos:

Tabla 6. Resultados inspección de válvulas de control.

<b>No posee válvula de control</b>		
<b>MAQUINA</b>	<b># de ducha</b>	<b>Cantidad de aspersores</b>
<b>Rotuladora A</b>	<b>D3</b>	1
	<b>D4</b>	1
	<b>D7</b>	1
<b>Rotuladora B</b>	<b>D5</b>	1
<b>TOTAL</b>		<b>4</b>

Estos elementos permiten el control de caudal en los puntos de lubricación y la ausencia de estos puede significar desperdicios de recursos como agua y lubricante.

#### 7.1.5 Reordenamiento de redes.

El salón donde se lleva a cabo el proceso de envasado está compuesto por dos niveles, las redes de tubería del sistema de lubricación atraviesa la losa



presión es mayor y por esto la dosificación es mayor, además estas flautas por su diferencia de altura cuando la electroválvula se cierra desde la central toda la solución lubricante que está en el ramal del segundo nivel baja de nuevo al primer nivel para salir por estas dos flautas por lo que el tiempo de lubricación en estas es constante.

La solución es unir las dos flautas al ramal de la zona sucia que está ubicada en el primer nivel y así la diferencia de presión no será tan grande además no sufrirá el efecto de la presión por la diferencia de altura y los tiempos de lubricación funcionarían normalmente.

## 7.2 ELECTRO VÁLVULAS.

Las válvulas son elementos electro mecánicos que controlan el paso de la solución lubricante, Están ubicadas a la salida de cada ramal son válvulas normalmente abiertas (NA) estas se utilizan para controlar los tiempo de lubricación de cada sector y así satisfacer las necesidades del sistema.

### 7.2.1 Estado de las válvulas.

Las válvulas tienen un tiempo programado desde el PLC del sistema, este tiempo es graduado dependiendo de la necesidad del sector donde este asignada la electroválvula podemos saber si el funcionamiento de una válvula es bueno si los tiempo de lubricación reales coinciden con los tiempos del PLC.

Las válvulas solenoides con sus tiempos o ciclos son:

Tabla 7. Resultados tiempos de ciclos de trabajos.

Ramificaciones	Tiempos en PLC	Tiempos Reales
	ON/OFF	ON/OFF
Rotuladora - Empacadora	20-30	20-30
Enfiladores - Rotuladora	25-30	25-30
Envasadora - Rotuladora	40-20	40-20
Enfiladores - Envasadora	45-60	45-60
Recibidora - Entrada Enfiladores	30-30	30-30
Desempacadora - Cargadora rechazos	120-30	Constante
Pasterizadora	20-20	Constante

Para la identificación visual de las válvulas obstruidas se recurrió a los tiempos de dosificación en las flautas de lubricación en estas se observó que los tiempos eran constantes o sea que no tenía ciclos de lubricación. Con esta anomalía se está consumiendo más solución lubricante de lo programado y requerido por el sistema. Por ello se revisó las válvulas encontrando desperdicios como plásticos y basuras que obstruían el paso de la dosis del agua con el lubricante. Las válvulas solenoides con problemas fueron las que distribuían la zona Desempacadora – Cargadora y sector de la salida pasterizadora.

### 7.3 LUBRICANTE.

El lubricante es una sustancia que se interpone entre la cadena y la botella que se encuentran en movimiento relativo, una con respecto a la otra. Se

intenta con ello que el proceso de deslizamiento sea con el coeficiente de rozamiento más pequeño posible.

Se debe seleccionar un lubricante que cumpla con los requisitos de lubricidad y de calidad algunos de estos requisitos básicos son:

Tabla 8. Propiedades del lubricante.

<b>PROPIEDADES DEL LUBRICANTE</b>	
<b>1</b>	Debe ser estable física y químicamente.
<b>2</b>	Ser tolerante a aguas duras - compatibilidad con el agua de dilución.
<b>3</b>	Poseer buena lubricidad. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Debe minimizar el desgaste de cadenas y guías.</li> <li>• Debe evitar la caída de botellas.</li> </ul>
<b>4</b>	Buena detergencia - limpieza. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Debe eliminar la materia orgánica, las capas negras, otros residuos de mugre y abrasivos.</li> <li>• Debe eliminar y evitar malos olores.</li> <li>• Debe lograr que las cadenas se conserven visiblemente brillantes.</li> </ul>
<b>5</b>	Propiedades bactericidas. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Debe evitar el desarrollo de microorganismos en las cadenas transportadoras, bandejas, componentes de transmisión, etc.</li> </ul>
<b>6</b>	Compatibilidad con los transportadores y envases no corrosivos. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los materiales empleados en la fabricación de equipos de embotellado y el de los envases, no deben ser atacados por el lubricante.</li> </ul>
<b>7</b>	Baja formación de espuma.
<b>8</b>	Bajos niveles de contaminación.

(Khemra, 2009).

### 7.3.1 Clases de lubricantes.

Existen en la industria varios tipos de lubricante según su composición química estos se dividen en lubricantes sintéticos y lubricantes orgánicos.

Los lubricantes sintéticos son aceites artificiales, logrados a partir de productos químicos y de su reacción química en condiciones muy concretas. Su naturaleza artificial les permite ser "construidos" a medida, por lo que sus características responden de forma muy aproximada a las necesidades requeridas por los constructores. Existen varios tipos de bases sintéticas, construidas originalmente de forma distinta: P.A.O ("Poly Alpha Olefinas"), Éster, "Hidrocrack". (MOTUL@2009).

Los lubricantes orgánicos Son producto de la destilación del crudo de petróleo. Se obtienen diferentes bases en función del corte de la destilación y de la procedencia del crudo (localización geográfica del pozo de petróleo). (MOTUL@2009).

Tabla 9. Comparación lubricante orgánico vs sintético.

<b>ACIDO GRASO ANIÓNICO (Lubricante Orgánico)</b>	<b>AMINA GRASA CATIÓNICA (Lubricante Sintético)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ No tolerantes a la dureza de agua.</li> <li>✓ Forman sales de calcio y magnesio que reducen la lubricidad y taponan las boquillas.</li> <li>✓ Requiere de productos secuestrantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Insensible a la dureza del agua.</li> <li>✓ Pueden tolerar diferentes niveles de dureza sin ningún efecto adverso.</li> <li>✓ No requiere secuestrantes.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ No biocida.</li> <li>✓ Requiere dosificación adicional de un agente biocida, que sea compatible con el producto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Buena actividad biocida controlando el desarrollo microbiano</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ No son corrosivos a los transportadores y sus soportes. Los dos pueden ser potencialmente agresivos al Screen y al PET, pero en ambos casos el ataque puede reducirse con una adecuada formulación.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Potencialmente agresivo a las latas de aluminio debido a su pH alcalino</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ No ataca las latas de aluminio debido a su pH neutro.</li> </ul>

Con estas características podemos observar que el tipo de lubricante que más se acerca a nuestras necesidades es el aceite sintético ya que posee propiedades necesarias para que el sistema tenga un desempeño óptimo en el proceso de lubricación.

### 7.3.2 Dosificación del lubricante sintético.

Para garantizar el buen desempeño del lubricante no solo es necesario escoger un lubricante que este acorde con las exigencias del proceso, este lubricante debe tener unas características de concentración al ser diluido en el agua, los parámetros de concentración son sugeridos por el proveedor.

La medición y calibración del sistema se realiza con la empresa proveedora del lubricante y se siguieron las sugerencias de concentración para tener los coeficientes de fricción mínimos y así obtener un sistema con un comportamiento apropiado la concentración apropiada para este lubricante está entre los 2 y 6 gramos por litro esta concentración deberá estar entre 0.2%v/v a 0.6%v/v.

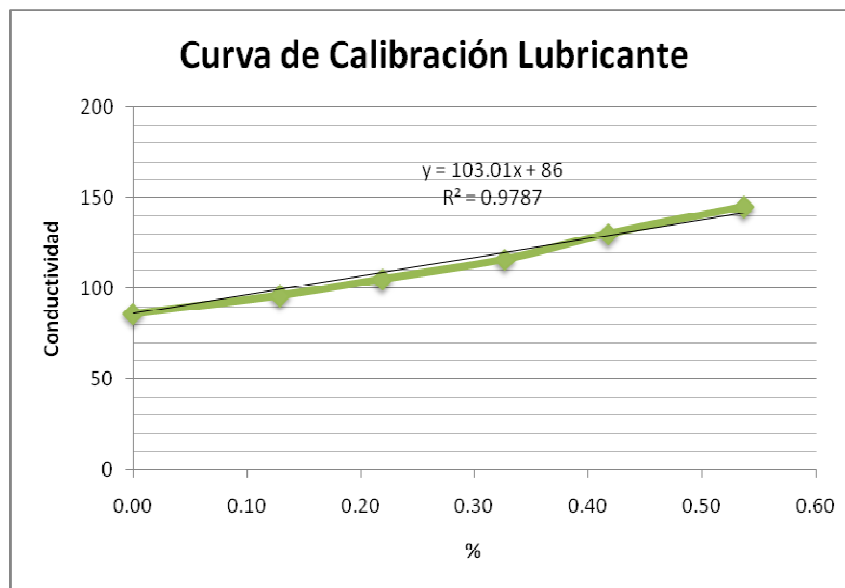
La primera prueba tiene como objetivo sacar la curva de concentración del lubricante con el agua que suministra la empresa, se toman cinco muestras y le mide el porcentaje de concentración, esta concentración la calculamos tomando el peso del lubricante y del agua respectivamente, luego se mide la conductividad en *microsiemens*, con estos datos se puede obtener la curva de comportamiento del lubricante con el agua. La medición del pH se utiliza para supervisar su concentración.



Tabla 10. Datos de la calibración

Estándar	Peso Lubricante	Peso Total	%	Microsimens	pH
1	0	100	0.00	86	8.54
2	0.13	100.85	0.13	96	8.62
3	0.22	100.55	0.22	105	8.45
4	0.33	101.01	0.33	116	8.77
5	0.42	100.61	0.42	130	8.49
6	0.54	100.54	0.54	145	8.89

Figura 38. Curva de calibración



La concentración del lubricante se mide con un conductímetro en *milisiemens* y el parámetro para calibrar la solución es 110ms aproximadamente en el tanque de mezcla, las mediciones también se realizan en las diferentes partes de la línea de envase asegurando que la concentración buscada se esté impregnando en las cadenas, los resultados son los siguientes.

Tabla 11. Seguimiento de la conductividad y concentración

Lugar de medición	Línea de envase	Conductividad (ms)	%
Salida lavadora	8	109	0.22
Salida llenadora	8	107	0.20
Salida pasterizadora	8	106	0.19
Enfilador rotuladora	8	112	0.25
Salida rotuladora	8	112	0.25
Salida lavadora 7	7	109	0.22
Salida llenadora7	7	109	0.22
Salida pasterizadora 7	7	109	0.22
Salida rotuladora 7	7	109	0.22
Empacadora 7	7	107	0.20
Empacadora	5	108	0.21
Salida rotuladora	5	108	0.21
Enfilador rotuladora	5	109	0.22
Salida pasterizadora	5	104	0.17
Entrada llenadora	5	106	0.19
Salida lavadora	5	106	0.19
<b>Promedio</b>		<b>108.13</b>	<b>0.21</b>

El promedio de la conductividad medida en diversos puntos del salón de envase es de 108.13ms esto quiere decir que por cada litro de solución está presente 21gr de lubricante sintético cumpliendo así satisfactoriamente la sugerencia del proveedor.

La medición del buen desempeño del sistema depende de variables como el coeficiente de fricción entre las botellas y la cadena, los paros de producción

causados por la lubricación, la caída de botellas en el proceso. Al final del capítulo se muestran las pruebas de medición de coeficiente de fricción y los datos de las demás mediciones de desempeño.

#### 7.4 SISTEMA DE BOMBEO.

El sistema de bombeo está conformado actualmente por una bomba centrífuga que induce de energía cinética a la solución lubricante que llega desde el tanque para distribuirlo por las redes del sistema, y otra bomba de las mismas características instalada en paralelo que funciona como *bypass*.

La bomba genera una presión de 60 psi a la salida, luego pasa por el regulador de presión, este es la encargada de regular el caudal y con esto controlar la presión para todo el sistema en general. La regulador de presión se puede regular para obtener presiones desde 15psi hasta 55psi, anteriormente el sistema trabajaba a 40psi o 50psi.

El bombeo del sistema trabaja con unas características especiales que dependen del regulador de presión y de las líneas que estén trabajando en el momento. Cada línea tiene su volumen de consumo independiente de las demás líneas en nuestro caso solo vamos a trabajar con una de las líneas, pero para esto debemos comparar los datos de bombeo con otra línea.

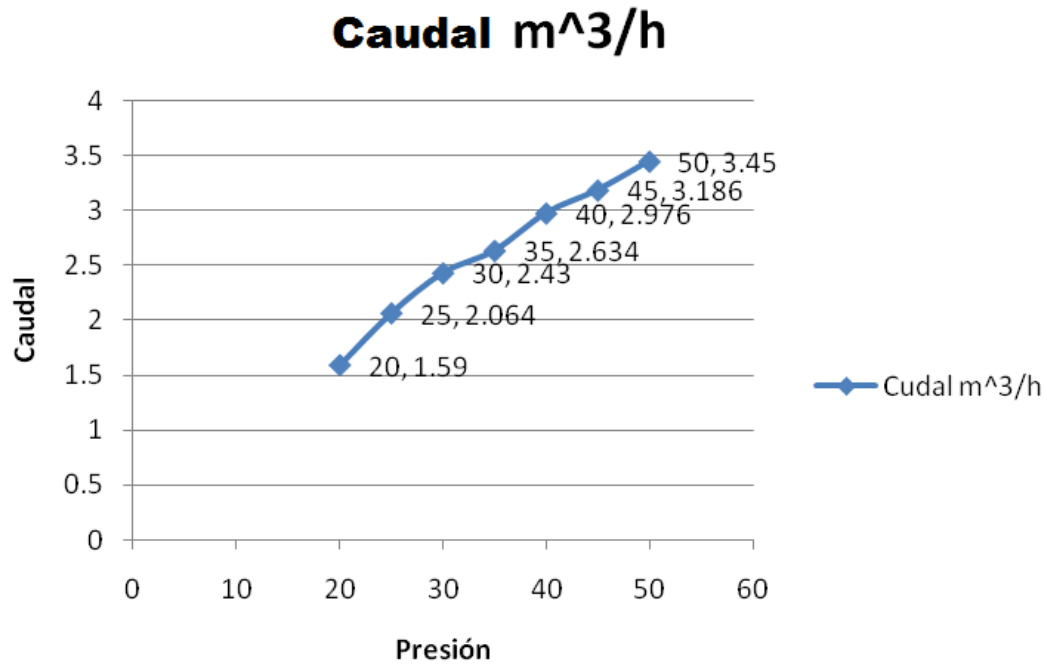
Para los datos se utiliza un contador que posee el sistema en cada línea, y con esto medir la cantidad de  $m^3$  de solución lubricante demandada por la línea en una hora. Se Toman medidas a diferentes presiones, desde 20psi hasta 50psi

Tabla 12. Datos y seguimiento del sistema de bombeo.

Presión	Contador línea 5 m <sup>3</sup> /10min		Contador línea 8m <sup>3</sup> /10min		Total m <sup>3</sup> /h
	Inicial	final	Inicial	final	
20	5086.22	5086.33	30.285	30.44	
	0.11		0.155		Total m <sup>3</sup> /h
	0.66 m <sup>3</sup> /h		0.93 m <sup>3</sup> /h		1.59
25	5086.371	5086.519	30.504	30.7	
	0.148		0.196		Total m <sup>3</sup> /h
	0.888 m <sup>3</sup> /h		1.176 m <sup>3</sup> /h		2.064
30	5086.534	5086.714	30.74	30.965	
	0.18		0.225		Total m <sup>3</sup> /h
	1.08 m <sup>3</sup> /h		1.35 m <sup>3</sup> /h		2.43
35	5086.76	5086.959	31.07	31.31	
	0.199		0.24		Total m <sup>3</sup> /h
	1.194 m <sup>3</sup> /h		1.44 m <sup>3</sup> /h		2.634
40	5086.99	5087.22	31.444	31.71	
	0.23		0.266		Total m <sup>3</sup> /h
	1.38 m <sup>3</sup> /h		1.596 m <sup>3</sup> /h		2.976
45	5087.112	5087.357	31.794	32.08	
	0.245		0.286		Total m <sup>3</sup> /h
	1.47 m <sup>3</sup> /h		1.716 m <sup>3</sup> /h		3.186
50	5087.19	5087.455	32.155	32.465	
	0.265		0.31		Total m <sup>3</sup> /h
	1.59 m <sup>3</sup> /h		1.86 m <sup>3</sup> /h		3.45

El resultado obtenido en la medición de bombeo muestra el consumo de las líneas con las diferentes presiones de trabajo, la grafica nos muestra la curva que relaciona la presión del sistema con el caudal utilizado por el sistema.

Figura 39. Curva caudal vs presión



La potencia requerida en el sistema es posible calcularla considerando la eficiencia de la bomba centrífuga como un 80% y con las variables de caudal y presión, para esto utilizamos la ecuación:

Ecuación 1. Potencia hidráulica

$$Pot = V * P * 0.0007$$

Donde:

P= Presión en libra\*Pulgadas<sup>2</sup> (PSI).

V= Caudal en Galones por minuto (GPM).

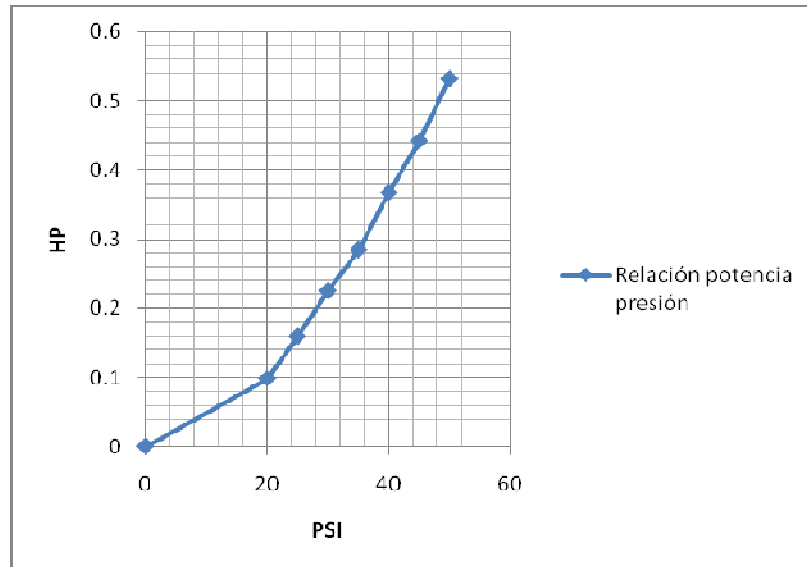
0.0007= factor para considerar la potencia del motor en 80%.

Tabla 13. Potencia necesaria para el sistema.

Presión	GPM	Potencia
	1m <sup>3</sup> /h=4.403	V*P*0.007=POT
20	7.00077	0.09801078 Hp 73.1160419 W
25	9.087792	0.15903636 Hp 118.641125 W
30	10.69929	0.22468509 Hp 167.615077 W
35	11.597502	0.2841388 Hp 211.967544 W
40	13.103328	0.36689318 Hp 273.702315 W
45	14.027958	0.44188068 Hp 329.642985 W
50	15.19035	0.53166225 Hp 396.620039 W

Los datos obtenidos anteriormente nos muestran una relación de presión con respecto a la potencia requerida que la podemos ver extrapolada en la grafica.

Figura 40. Curva de Potencia vs Presión.



Los parámetros que se le dieron a la medición de bombeo fueron vigilados constantemente para no alterar el rendimiento y el desempeño de la línea de envase, en este seguimiento observaron las características más importantes para el buen rendimiento de la línea y se pudo determinar que para la línea 5 la presión de 20psi con un caudal de  $0.66\text{m}^3$  es ideal para las necesidades de funcionamiento, con estos parámetros no se afecta el óptimo rendimiento.

#### 7.4.1 Independencia de bombeo.

La presión es constante en la entrada de todas las líneas del sistema, se puede observar que existen líneas que demandan más presión para su funcionamiento que las otras, debido a las características y ubicación de esta. Las distancias de las redes de tuberías son más extensas en un punto que en otro por lo cual implica obviamente que las pérdidas son mayores a medida que se va prolongando la red.

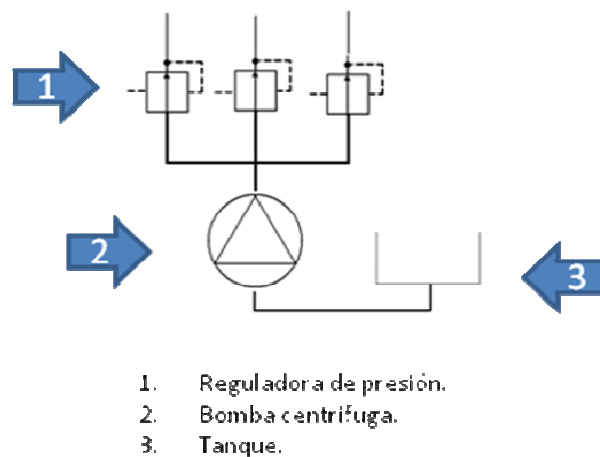
El buen desempeño está ligado a la parametrización de las condiciones de trabajo por esto una propuesta para que el sistema tenga la presión deseada

es independizar el bombeo por cada línea y así la presión será también independiente y acorde con las necesidades de trabajo.

Para la solucionar la demanda de presión en las líneas tenemos dos posibles soluciones que podemos analizar y observar la que mejor se adapte a las posibilidades y necesidades del proceso de envasado y al sistema de lubricación.

- La primera propuesta para esta oportunidad de mejora se trata de tener por cada línea de bombeo una válvula reguladora de presión o regulador de presión que se ecualice según sea la necesidades de trabajo de cada línea.

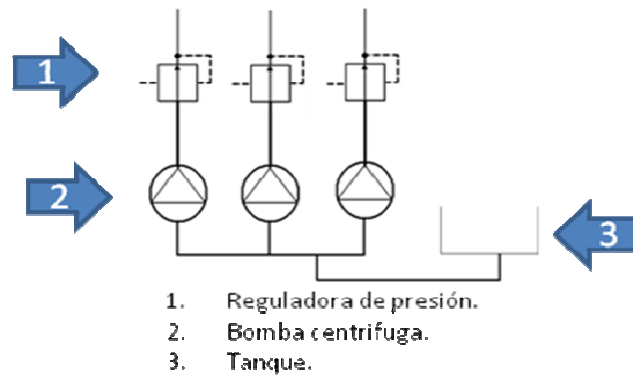
Figura 41. Esquema propuesta 1



- La segunda propuesta es independizar las líneas con bombeo independiente y con un regulador de presión por línea para garantizar la presión necesaria y constante para su óptimo funcionamiento.



Figura 42. Esquema propuesta 2



Para elegir la propuesta más efectiva para los requerimientos necesarios en el sistema se realiza una tabla de decisión, esta tabla tiene un listado de requerimientos técnicos del sistema con una puntuación de 1 – 5 siendo 5 la más importante.

Tabla 14. Matriz de decisión.

Requerimientos		Propuesta 1	Propuesta 2
1	Estandarización de la presión por línea.	✓ 5	✓ 5
2	Medición precisa del consumos de insumos	✓ 3	✓ 3
3	Presión graduable para las líneas según su funcionamiento	✓ 4	✓ 4
4	Autonomía en el funcionamiento del sistema		✓ 5
5	Fácil puesta a punto.		✓ 5
6	Menor costo energético	✓ 5	
7	Autonomía en la limpieza ( Hacer limpieza y desinfección en las redes cuando las demás líneas están funcionando)		✓ 4
<b>Total</b>		<b>17</b>	<b>31</b>

(Fuente propia, 2009)

La tabla de decisión nos muestra que la solución que se acomoda más a los requerimientos técnicos del sistema y la empresa es la propuesta 2.

La autonomía de bombeo por línea con sus respectivos reductores de caudal es la mejor opción para solucionar las necesidades técnicas debido a la autonomía del sistema. En las empresas modernas la autonomía de una maquina y la fácil puesta a punto son puntos esenciales en el funcionamiento eficiente del proceso, la propuesta 1 es buena pero el gran problema radica básicamente en que demanda tiempo para la puesta a punto, cada que alguna línea inicie su funcionamiento o pare la producción es necesaria la intervención de un operador.

Para independizar el sistema necesitamos saber que características se requieren para suplir las necesidades técnicas de la línea. Como se ve en la tabla 11 Datos y seguimiento del sistema de bombeo. Las condiciones ideales para el funcionamiento óptimo de la línea son de 20psi de presión de salida y con un caudal de  $0.66\text{m}^3$ , con estos datos podemos calcular potencia de la bomba con la ecuación 1.

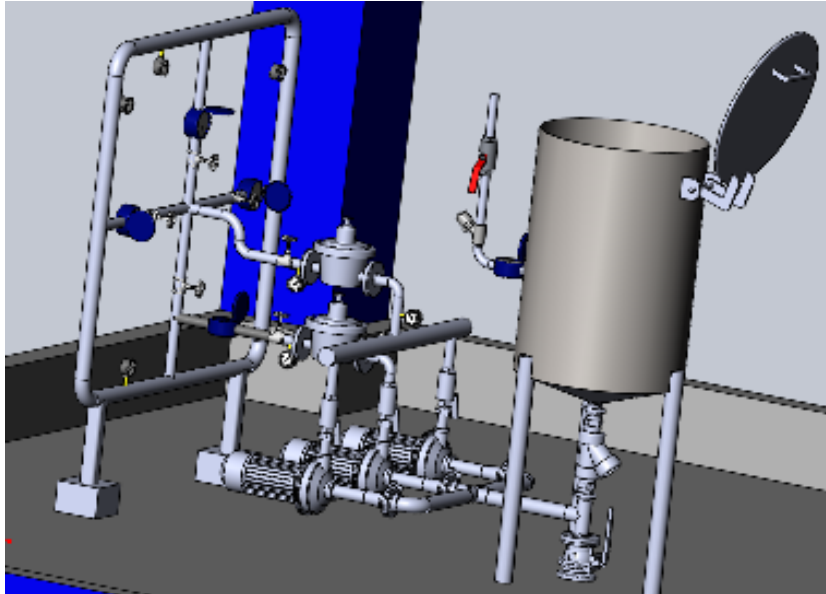
Tabla 15. Potencia de la bomba.

Presión	Total $\text{m}^3/\text{h}$	GPM	Potencia
		$1\text{m}^3/\text{h}=4.403$	$V \cdot P \cdot 0.007 = \text{POT}$
20	<b>0.66</b>	2.90598	0.04068372 Hp 73.1160419 W

La potencia mínima para que el sistema cumpla con los estándares establecidos de caudal y presión debe ser de 0.04 Hp.

La propuesta para el sistema de bombeo autónomo esta se modela en un software de diseño llamado Solid Works y es ilustrado en la figura siguiente.

Figura 43. Modelación sistema autónomo de bombeo



## 7.5 PROGRAMACIÓN DE TIEMPOS DE LUBRICACIÓN.

El PLC posee una interfaz que permite programar el tiempo para cada ramal, Los ramales en que está dividido el sistema de lubricación son:

- Rotuladora –Empacadora
- Enfiladores – Rotuladora
- Enfiladores – Envasadora
- Recibidora – Entrada de Enfiladores
- Desempacadora – cargadora rechazos
- Pasterizadora

Los tiempos de lubricación son necesarios para tener un control sobre los ciclos de dosificación en un determinado sector. Tenemos que asegurar unos tiempos de lubricación promedio dependiendo de la velocidad en cada zona, esta medida se hace con el fin de asegurar que el lubricante se impregne en la cadena de principio a fin.

Para medir los tiempos del recorrido de la cadena desde un extremo hasta el otro de la mesa, marcamos un eslabón de la cadena y con cronometro tomamos el tiempo que tarda en hacer este recorrido, este lo duplicamos para saber cuánto tiempo tarda un eslabón en dar una vuelta.

Tabla 16. Ciclos de cadenas.

Ramal	Velocidad m/min	Tiempo (Segundos)	Ubicación
Recibidora	18	30	Tercer grupo de cadenas después de la salida de la cargadora
Omnivision	55	5	Enfiladores
Entrada pasterizadora	50	15	Enfilador salida de llenadora
Salida pasterizadora	18	30	Bifurcación rotuladora
Ramal entrada rotuladora	60	8	Enfiladores rotuladora
Rotuladora empacadora	20	12	salida rotuladora

## 7.6 LIMPIEZA DEL SISTEMA.

El sistema de lubricación trabajaba anteriormente con un lubricante orgánico lo que implicaba mantener el sistema limpio cada que se terminara el proceso, esto no se hacía y por esta razón era común encontrarse residuos y boquillas taponadas por la ausencia de un mantenimiento y limpieza. La obstrucción de las boquillas se traducía en menor lubricación mayor perdidas de presión etc.

La limpieza del sistema es importante para ayudar a mantener la línea aséptica y sin problemas de microorganismos, además también favorece con el buen desempeño de la línea de producción. Para todo esto se elabora un plan de limpieza que asegure los mínimos requerimientos de mantenimiento, ese plan de limpieza consiste en lo siguiente.

Tabla 17. Cronograma de limpieza.

Tipo de limpieza	Periodo	Responsables	Método de limpieza
Limpieza de redes	1 semana	Operario	La limpieza de redes es necesaria hacerla cada que pare la línea de envase el fin de semana. Y consiste en pasar agua limpia por las redes para enjuagar el sistema y evitar que el lubricante pase tiempo muerto dentro de las redes de lubricación
Limpieza boquillas	1 mes	Operario	La limpieza de boquillas es necesaria hacerla por lo menos una vez al mes para evitar que residuos se acumulen en las boquillas y las taponen, esta limpieza se hace teniendo presente la distribución de las boquillas aspersoras.

## 7.7 REUTILIZACIÓN DE AGUA PARA LUBRICACIÓN.

La reutilización del agua para el proceso de lubricación es un punto inicial importante para el buen uso de los recursos naturales y el reproceso de materiales que se vierten continuamente. el proyecto de reutilización de aguas no será un tema que se profundice en este trabajo pero es una extensión del proyecto.

Las aguas residuales destinadas para el reproceso provienen del proceso de lavado de botellas y se almacenan en un tanque elevado, las características

Tabla 18. Características del agua destinadas para el proceso.

TANQUE ELEVADO EMBOTELLADO									
pH	DT	Dca	Turbieza		AT	AF	Cloruros	STD	Conductividad
	Dureza total	Dureza cálcica	90 <sup>a</sup>	25 <sup>a</sup>	Alcalinidad total	Alcalinidad fenólica		Sólidos totales disueltos	
	ppm	ppm			ppm	ppm		ppm	
5.43	35.16	20.32	0.09	0.45	25.25	0	45.25	302	561
5.4	35	23.44	0.07	0.2	19.3	0	24.72	54	101
5.32	35.44	28.2	0.08	0.18	19.42	0	43.25	50	98
5.26	35.64	28.6	0.1	0.15	19.94	0	88.97	58	107
5.38	54.08	18.76	0.1	0.53	14.79	0	59.7	62	117
5.27	41.36	18.24	0.18	0.53	14.95	0	33.99	52	97
5.23	39.28	27.76	0.19	0.28	16	0	7.1	64	114
4.97	32.44	23.96	0.09	0.15	9.89	0	3.83	53	102
5.68	34.12	24.6	0.21	0.61	20.42	0	4.31	50	93

Con estas características el sistema que se cotizo es un sistema de filtración de aguas mediante osmosis inversa,

### 7.7.1 Filtración por membranas.

La filtración mediante membranas se basa en el principio de la separación de las partículas basado en el tamaño de los poros. Según la membrana seleccionada, se pueden separar sólidos suspendidos, bacterias, virus, y

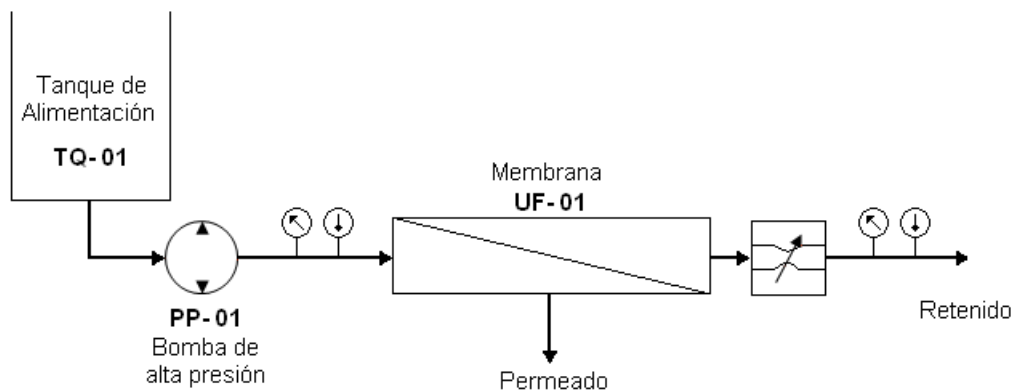
muchos otros elementos, cuyo diámetro sea mayor que el del poro más grande de la membrana.

La reutilización del agua por medio de este tipo de sistema tiene ventajas no solo económicas si no también ventajas ambientales y de calidad.

- Reducción de costos de insumos.
- Aguas asépticas para el proceso.
- Reducción de problemas microbiológicos.
- Reutilización de las aguas.

En la figura 49 se muestra el diagrama de flujo del proceso con los principales flujos y componentes del sistema. Como componentes principales del sistema se encuentran, el tanque de alimentación, la bomba que conduce el alimento hacia la membrana y la membrana.

Figura 44. Diagrama de flujo del sistema de filtración



(Ospina, 2008).

El sistema de filtración por ósmosis ahorrara en costos de producción y ayudaría a controlar cualquier tipo de problema microbiológico dentro del proceso de envasado.

## 7.8 MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA.

El desempeño del sistema de lubricación se puede analizar y tomando datos del trabajo de la línea de producción, algunos de los datos que se hace referencia para medir el desempeño del sistema son:

- Coeficiente de fricción entre las botellas y los transportes.
- Paros de producción producida por problemas referentes a la lubricación.
- Caída de botellas en el recorrido que hacen por todo el proceso de envasado.

### 7.8.1 Coeficiente de fricción.

El coeficiente de fricción es uno de los factores más importantes para medir el desempeño del sistema, la fricción depende de la concentración en la solución lubricante y de la zona donde se lubrique, cuando en la zona hay presencia de residuos extraños al roce entre el vidrio de la botella y el acero inoxidable de los transportes entonces la fricción aumenta. Tomamos como referencia la siguiente tabla para saber cuál es la fricción adecuada.

Tabla 19. Coeficientes de fricción entre materiales.

Fricción entre la cadena y el producto								
Material de la cadena	lubricación	Aluminio	Vidrio	Botellas retornable de vidrio	Botellas no retornables de vidrio	Papel	Plástico	Acero
Acero al carbón	Seco	0.28	0.35	0.47	0.35	0.4	0.3	0.35
	Aceite						NR	NR
Acero inoxidable	Seco	0.28	0.35	0.47	0.35	0.4	0.3	0.35
	Agua	0.19	0.25	0.31	0.25	NR	0.2	0.25
	Jabón y agua	0.12	0.15	0.21	0.15	NR	0.1	0.15
	Aceite						NR	
Acetal común	Seco	0.25	0.2	0.27	0.2	0.33	0.25	0.3
	Agua	0.17	0.15	0.18	0.15	NR	0.2	0.22
	Jabón y agua	0.12	0.1	0.14	0.1	NR	0.15	0.15
Acetal de baja fricción	Seco	0.2	0.15	0.2	0.15	0.3	0.2	0.25
	Agua	0.15	0.13	0.16	0.13	NR	0.18	0.2
	Jabón y agua	0.12	0.1	0.14	0.1	NR	0.15	0.15
NR	No recomendado				No examinado			

(Wright, 2006)



Las pruebas para medir el coeficiente de fricción se realizan en puntos donde la velocidad es alta o las condiciones se tornan difíciles.

Tabla 20. Resultados prueba de fricción

Peso botella (330cc)	Vacía (gr)	llena(gr)	Ecuación de coeficiente de fricción
	233.95	584.44	$\mu = F/n$
Numero de botellas	7		
g(m/s <sup>2</sup> )	9.8		

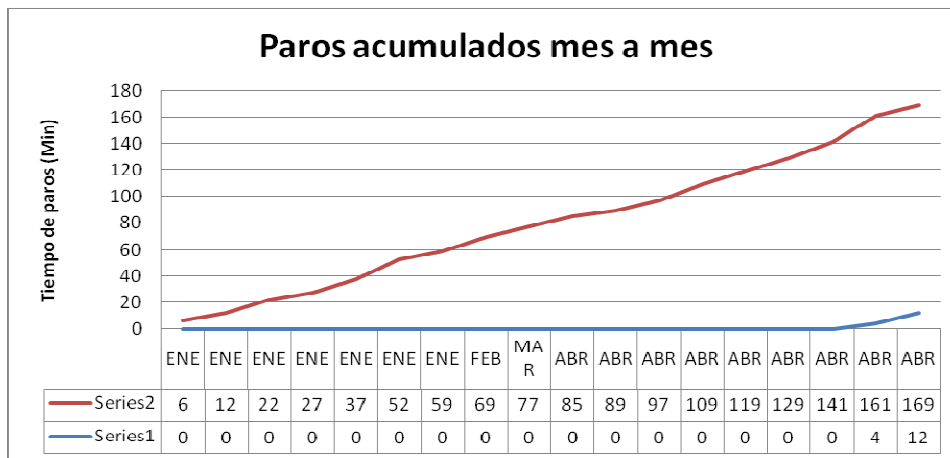
Sector	Medidas	fuerza (kg-f)	peso de las botella (Kg)	$\mu$ coeficiente de fricción
Cargue	1	2.6	1.63765	0.162004166
	2	2.4	1.63765	0.149542307
Salida lavadora de Botellas	1	2	1.63765	0.124618589
	2	2.2	1.63765	0.137080448
Salida llenadoras	1	5.8	4.09108	0.144665158
	2	5.4	4.09108	0.134688251
Salida pasteurizadora	1	5	4.09108	0.124711343
	2	5.2	4.09108	0.129699797
Enfiladores Rotuladora	1	5.2	4.09108	0.129699797
	2	5	4.09108	0.124711343
Mesa de acumulación	1	6	4.09108	0.149653612
	2	6.2	4.09108	0.154642065
<b>Promedio línea de envase</b>				<b>0.13880974</b>

Los resultados obtenidos en la prueba están dentro de los parámetros normales, el coeficiente de fricción sugerido es de 0.15 en la zona limpia y de 0.21 en la zona sucia como lo indica Wright en la tabla 19, el promedio del coeficiente es de 0.139 por lo tanto la concentración y dosificación de la solución lubricante cumple con los parámetros sugeridos.

### 7.8.2 Paros de producción.

En los procesos industriales los paros de producción son un índice negativo dentro del desempeño, estos paros implican sobrecostos en la producción e ineficiencia de los procesos. En las tablas se hace un comparativo de los 4 primeros meses de 2008 frente a los 4 primeros meses de 2009, estos son los resultados obtenidos en esos periodos de tiempos.

Figura 45. Comparativo paros de producción



Vemos como los paros de producción por lubricación se redujo en un 92% con respecto al año anterior, esto se traduce en mayor eficiencia y por lo tanto menores costos de producción.

## 7.9 EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica del proyecto se realiza discriminando los elementos de cada costo como material directo, mano de obra directa y costos indirectos de fabricación. El análisis se hace para la situación del sistema anterior y una proyección del proyecto una vez realizado el rediseño.

El análisis se realiza tomando los costos mensuales, el costo de la mano de obra directa se considera tomando en cuenta el número de horas trabajadas y el factor prestacional del 60%, también se toma en cuenta el costo de la dotación mensual por \$25.000 y el subsidio de transporte de \$59.300.

El primer análisis se realiza para la situación anterior del proceso de lubricación los consumos son tomados de datos reales, y los resultados se muestran en la tabla 18.

Tabla 21. Análisis costos situación sistema de lubricación anterior.

<b>Costos unitarios por mes del la implementación y trabajo del proyecto.</b>				
<b>Mano de Obra mes por mes</b>				
<b>Elemento</b>	<b>Salario mes</b>	<b>Numero de horas</b>	<b>Factor prestacional</b>	<b>Valor Total</b>
Operario 1	1,500,000	25	60%	259,872
Operario 2	1,500,000	25	60%	259,872
Operario 3	1,500,000	25	60%	259,872
Ingeniero de unidad	6,000,000	6	60%	240,625
<b>TOTAL MOD</b>				<b>1,020,241</b>
<b>Cif</b>				
<b>Elemento</b>	<b>ítem</b>	<b>Costo</b>	<b>Valor Total</b>	
Insumos	Lubricante	25,000,000		
	Agua - Acueducto	1,512,000		
	Agua - Vertimiento	4,968,000		
	Energía Bomba	63,840		
	Energía PLC	3,192		
			31,547,032	
Paros de producción			\$ 704,167	
<b>TOTAL Cif</b>				<b>32,251,199</b>
<b>Costo total por mes</b>				<b>33,271,440</b>

El estudio de costos analiza la situación anterior del sistema, muestra solo los costos indirectos de fabricación y los costos de mano de obra directa, los costos de elementos del sistema no se tuvieron en cuenta debido a que son materiales propuestos para la modificación del proyecto y están presentes solo en el análisis de costos en la situación actual que se ilustrara más en la tabla 21.

Para la mano de obra se toman las personas que están directamente encargadas del proceso, y para los CIF tenemos los insumos que se dividen en Lubricante, Agua de suministro, costo del vertimiento del agua, La energía consumida por la bomba centrífuga y la energía del PLC, además se toma un promedio de los paros de producción mensuales para poder proyectar luego a un año.

El segundo análisis se realiza para la situación actual del proceso de lubricación, los consumos son tomados de datos reales, y los resultados se muestran en la tabla 21.

Tabla 22. Análisis costos situación sistema de lubricación anterior.

<b>Costos unitarios por mes del la implementación y trabajo del proyecto.</b>			
<b>Materiales directos nueva central de Lubricación (MD).</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Cantidades</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Boquillas	30	22,000	660,000
Tuerca sujetadora	5	23,200	116,000
Filtro tamiz	30	6,500	195,000
Tubo flauta aspersion	1	60,000	60,000
Válvulas de aguja	4	5,000	20,000
Tubería	22	4,000	88,000
Cuerpo de aspersion	6	38,000	228,000
O ring (Empaques)	10	500	5,000
Mangueras	0.5	3,000	1,500
Tubería Acero Inoxidable	15	18,000	270,000
Teflón	1	500	500
Codos	8	800	6,400
Sellante	1	15,000	15,000
Bomba centrifuga	1	2,000,000	2,000,000
Reguladora de presión	1	150,000	150,000
Contador	1	60,000	60,000
Válvula mariposa	2	15,000	30,000
Tubería inox 1'	0.8	18,000	14,400
<b>TOTAL</b>			<b>3,919,800</b>

<b>Mano de Obra Instalación y puesta a punto (MOD)</b>				
<b>Elemento</b>	<b>Salario mes</b>	<b>Numero de horas</b>	<b>Factor prestacional</b>	<b>Valor Total</b>
Operario 1	1,500,000	16	60%	166,318
Operario 2	1,500,000	16	60%	166,318
Operario de lubricación	1,500,000	3	60%	31,185
Mecánico	1,500,000	3	60%	31,185
Electricista de unidad	1,500,000	3	60%	31,185
Ingeniero de unidad	6,000,000	10	60%	401,042
<b>TOTAL</b>				<b>827,232</b>

Cif (Costos indirectos de producción)			
Elemento	Ítem	Costo	Valor Total
Insumos	Lubricante	13,000,000	
	Agua - Acueducto	840,000	
	Agua - Vertimiento	2,760,000	
	Energía Bomba (2)	127,680	
	Energía PLC	6,384	
			16,734,064
Depreciaciones			32,665
Paros de Producción			50,000
<b>TOTAL</b>			<b>16,816,729</b>
<b>Costo total por mes</b>			<b>17,249,466</b>

El estudio de costos analiza la situación actual del sistema en un mes, se desglosan todos los elementos necesarios para ejecutar el proyecto, y también muestra los costos indirectos de fabricación y los costos de mano de obra directa.

Los grandes ahorros se ven reflejados en los paros de producción y en el consumo de lubricante, pero estos datos no se pueden considerar a la hora de obtener los resultados finales, ya que no se tienen en cuenta las horas de trabajo que la maquina realiza antes y después del proyecto.

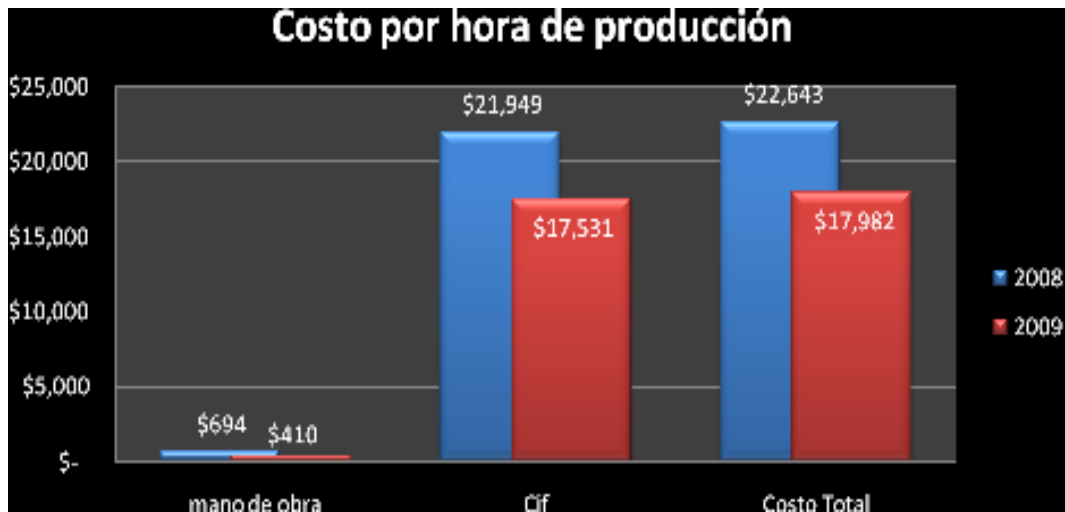
Para analizar los ahorros del nuevo proyecto tenemos que tener en cuenta las horas de producción, ya que, en el presente las horas de trabajo de las líneas tienen una diferencia de un 35% aproximadamente. Con esto podemos hallar el costo de una hora de producción con el diseño original y otra con el rediseño del proyecto.

Tabla 23. Costos por hora de producción.

	2008	2009
Horas de producción mensual.	1,469	959
Costo total de producción mensual.	\$ 33,271,440	\$ 17,249,466
Costo por hora de producción	\$ 22,643	\$ 17,982
Porcentaje de ahorros	<b>21%</b>	

Realizando el análisis de costos obtenemos que los costos por hora de producción para la mano de obra directa, para los costos indirectos de fabricación y para el proyecto en general son:

Figura 46. Comparativo costo hora de producción.



Con los datos obtenidos podemos hacer una proyección del costo total anual dependiendo de las horas totales de trabajo en el año, las horas promedio de trabajo de la empresa en el año son de 11.512 horas. Con esto podemos decir que:

Tabla 24. Proyección anual del proyecto.

	Horas de producción al año	2008	2009
Costo producción al año	11.511	\$ 260,643,168.38	\$ 206,993,589.94
Ahorros anuales	11.511	<b>\$ 53,649,578.43</b>	

Vemos como los costos totales varia significativamente de un caso con respecto al otro, la proyección nos muestra un ahorro de \$53.649,578 anuales para el total de los costos del proyecto.



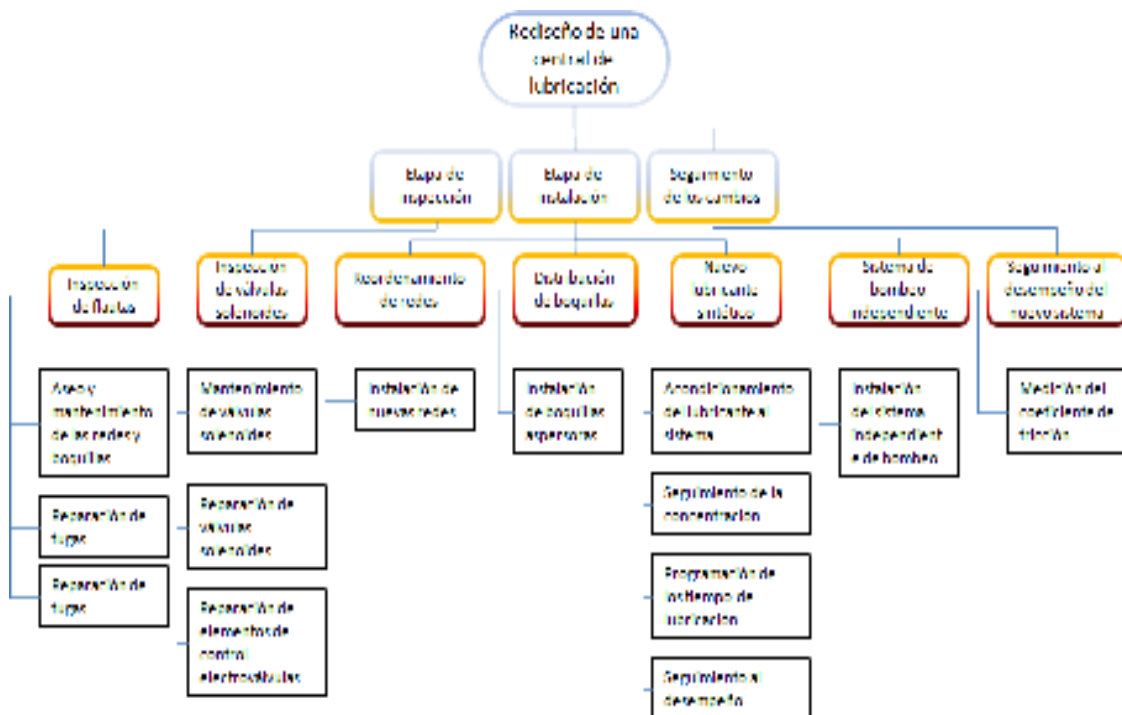
## 8. PLAN DE ACCIÓN.

El objetivo del plan de acción es aplicar en un tiempo determinado las oportunidades de mejora en la línea de envase, las actividades para llevar a cabo los cambios se desglosan hasta tener tareas que se asignan a personas y que estas las aplican en los tiempos asignados por el plan, el plan de acción se realiza para optimizar la ejecución del proyecto.

El plan de acción se realizó con un software llamado *Project* este es especial para este tipo de actividades.

Para desarrollar el plan de acción se realiza la estructura de desglose del trabajo, esto lo hacemos asignando los niveles a las tareas asignadas con esto tenemos que:

Figura 47. Estructura de desglose del trabajo.



En la primera tabla asignamos las actividades y los responsables de estas actividades, también tenemos en cuenta el tiempo propuesto y los recursos necesarios para la ejecución.

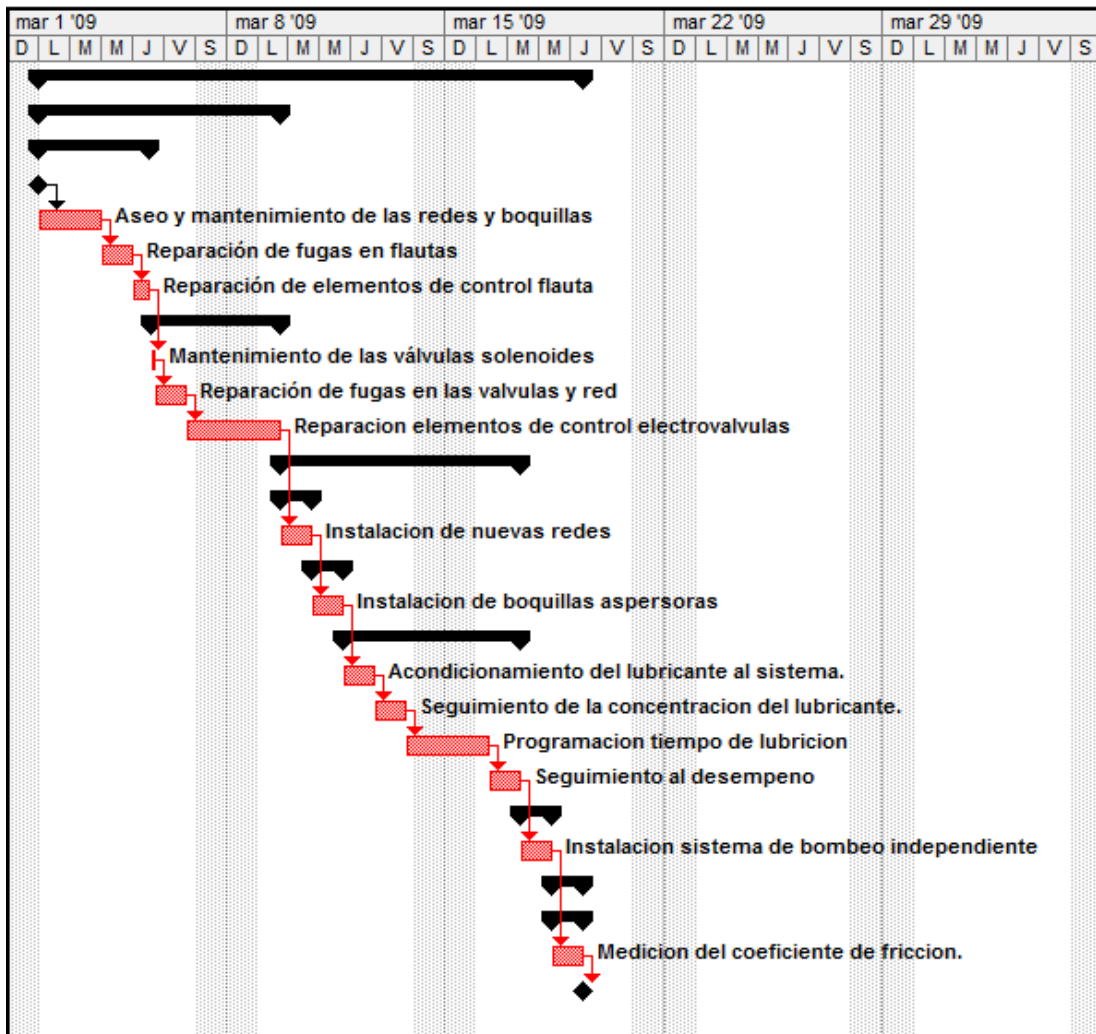
Tabla 25. Plan acción.

Actividad	Nº	Tarea	Responsable	Número de personas	Tiempo de ejecución (Horas)	Recursos para la actividad
Inspección de flautas	1	Aseo y mantenimiento de las redes y boquillas	Operario Lubricación	3	8	Herramienta
						Recipiente
						Cepillo
						Jabón
						Agua
	2	Reparación de fugas	Operario Mecánico	2	8	O ring (Empaques)
Teflón						
Mangueras						
3	Reparación elementos de control flautas	Operario de lubricación	1		Herramienta	
Inspección de válvulas solenoides	1	Mantenimiento de las válvulas solenoides	Electricista de unidad	1	4	Herramienta
	2	Reparación válvulas solenoides	Electricista de unidad	1	1	Herramienta
	3	Reparación elementos de control electroválvulas	Electricista de unidad	1	1	Herramienta
Reordenamiento de redes	1	Instalación nuevas redes	Operario de Lubricación	2	4	Herramienta
						Tubería PVC
						sellante

Actividad	N°	Tarea	Responsable	Número de personas	Tiempo de ejecución (Horas)	Recursos para la actividad
Distribución de boquillas	1	Instalación de boquillas aspersoras	Operario de lubricación	4	8	Herramienta
						Boquillas
						Filtro tamiz
						Tuerca sujetadora
Nuevo lubricante sintético	1	Acondicionamiento del lubricante al sistema.	Ingeniero de unidad	1	2	Lubricante sintético
			Proveedor encargado	1	2	
	2	Seguimiento de la concentración	Ingeniero de unidad	1	1	Recipiente
			Operario de lubricación	1	1	Conductivimetro
	3	Programación de tiempos de lubricación	Ingeniero de unidad	1	0.5	NA
			Electricista de unidad	1	0.5	
	4	Seguimiento al desempeño	Ingeniero de unidad	1	8	Medición visual
	Sistema de bombeo independiente	1	Instalación del sistema de bombeo independiente	Ingeniero de unidad	1	8
Operario Mecánico				1	8	Bomba Centrifuga
						Regulador de presión
Electricista de unidad				1	8	Tubería inoxidable 1'
						Válvula mariposa
Contador de agua						
Seguimiento al desempeño del nuevo sistema	1	Medición del coeficiente de fricción.	Ingeniero de unidad	1	3	Dinamómetro

El plan de acción se distribuyó teniendo en cuenta el cronograma lógico de las actividades y analizando cuáles son las tareas predecesoras y antecesoras. Con esta consigan podemos ver el diagrama de Gantt desde el realizado en *Project*.

Tabla 26. Diagrama de Gantt del proyecto.



El proyecto dura 13.13 días cumpliendo con los tiempos determinados en el análisis del plan de acción, el análisis se planteo con días de 8 horas laborales, los sábados y domingos no se trabaja, como solo hay una ruta de trabajo, cualquier tarea se torna critica, cualquier inconveniente con el tiempo se verá reflejado al final del proyecto en costos y tiempo.

## 9. CONCLUSIONES

El sistema centralizado de lubricación es una de las mejores alternativas en cuanto a la dosificación constante y efectiva se refiere, el desempeño es alto si la dosificación es óptima y el estado de la maquina es bueno, todo esto depende del cuidado, el plan de limpieza y mantenimiento que se le realice periódicamente.

Es necesario un análisis cada vez que el sistema realice un cambio en los parámetros de funcionamiento o en su estructura, no importa si los cambios son menores, las reformas realizadas afectan el sistema, esto puede llevar a un daño significativo tanto en los componentes físicos del sistema y en la calidad de producto.

Las oportunidades de mejora se identifican buscando los elementos que no se necesitan, y que no hacen parte de los componentes que verdaderamente contribuyen con el óptimo desempeño del sistema, esto se hace analizando y siguiendo su comportamiento en diferentes condiciones, de esta manera podemos eliminar todos estos elementos sobrantes y podemos desglosar para finalmente filtrar y tener los componentes que nos permiten mejorar y optimizar el proceso en calidad, tiempo y costos, estos tres elementos son los más importantes a la hora de medir la funcionalidad y el éxito de un rediseño en un proceso industrial.

Las condiciones técnicas del sistema permitieron medir y cambiar diferentes variables en condiciones reales, esto facilita el análisis para elegir las mejoras más apropiadas dentro del rediseño de la central de lubricación.

El rediseño del sistema de lubricación no fue un proyecto de cero inversión, pero si se realizo con un presupuesto relativamente bajo, esto no fue impedimento para cumplir con las expectativas creadas antes de empezar,

los que nos indica que con un buen control de las variables establecidas por el sistema y con la parametrización y estandarización de componentes y el buen mantenimiento se puede optimizar un proceso.

En la evaluación económica del proyecto fue necesario tener en cuenta los elementos que intervengan en el proceso y la operación, pero además, en procesos industriales es necesario tener en cuenta el costo de producción por hora ya que las horas de fabricación cambian de un periodo a otro.

Los grandes ahorros que se obtuvieron en el proyecto tienen que ver con el consumo de los insumos y los paros de producción, pero en general los costos totales disminuyeron en un 21% que representan alrededor de \$54.000.000 de pesos con respecto al costo de horas producidas.

## 10. BENEFICIARIO DIRECTO

El beneficiario directo del rediseño del sistema centralizado de lubricación es la línea 5 del área de envase de Cervecería Unión S.A subsidiaria de Sab Miller.



## 11. BIBLIOGRAFÍA

ICONTEC. 2008. TESIS Y OTRAS TRABAJOS DE GRADO. Bogotá, Colombia ICONTEC, 2008.

Ospina, Patiño Andrea, Recuperación Y Concentración Del Suero Por Medio De Membranas De Ultrafiltración. Trabajo para obtener un título como ingeniera mecánica. Medellín: Universidad EAFIT 2008, 86 páginas.

SEIRG A.A. 1998. Friction and Lubrication Mechanical Design, University of Wisconsin-Madison Madison, Wisconsin and University of Florida Gaines Ville, Florida 1998. ISBN: 0-8247-9974-7.

STOLARSKY, T.A. 2000 Tribology in Machine Design, Oxford. ISBN 0-7506-3623-8

VIÑOLAS, PRAT Jordi, EGAÑA AZURMENDI Juan Martin y CARRERA ACUTAIN, Xabier Elementos de maquinas 2002.

WRIGHT, jhon L, Chains for Power Transmission and Material Handling, Universidad estatal de Ohio Estados Unidos. 2006, ISBN 1-57444-647-9

ZEMAN, Leos - ZYDNEY, Andrew. *Microfiltration and ultra filtration: Principles and applications*. U.S.A.: Marcel Dekker Inc, 1996. ISBN: 08-2479-735-3.

DIAZ TAPIA@, NELSON. Monografías. Lubricación Centralizada [En línea] julio 2006 [Citado el: 19 de septiembre de 2008] <http://www.monografias.com/trabajos26/lubricacion-centralizada/lubricacion-centralizada.shtml>

Danfoss@2009, Products categories [En línea] Abril 1 de 2009[citado el: 2 marzo de 2009] disponible en : <http://www.danfoss.com/Products/Categories>

GEA Filtration Division Niro Inc@2009. *Procesamiento del suero*. [Bases de datos en línea]. Página Web versión HTML. Estados Unidos. [citado el 17 de febrero de 2009]. Disponible en:  
<http://www.geafiltration.com/Espanol/biblioteca/concentrandonos-en-la-calidad.html>.