



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**REDISEÑO DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN PARA LOS EQUIPOS EN
EL ÁREA DE EMPAQUE Y PALETIZADO DE UNA PLANTA
PROCESADORA DE VIDRIO**

MERCADO ARAY, IVÁN JOSE

Valencia, Noviembre de 2008



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**REDISEÑO DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN PARA LOS EQUIPOS EN
EL ÁREA DE EMPAQUE Y PALETIZADO DE UNA PLANTA
PROCESADORA DE VIDRIO**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO.**

MERCADO ARAY, IVÁN JOSE

Valencia, Noviembre de 2008



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes miembros del jurado designado para evaluar el Trabajo Especial de grado titulado **“REDISEÑO DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN PARA LOS EQUIPOS EN EL ÁREA DE EMPAQUE Y PALETIZADO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE VIDRIO”**, realizado por el bachiller Iván J. Mercado A. C.I: 18.180.031; hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Ing. Jorge Romero

Dr. Luis Valles

Ing. Fernando Montero

Valencia, 3 de Noviembre de 2008



RESUMEN

REDISEÑO DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN PARA LOS EQUIPOS EN EL ÁREA DE EMPAQUE Y PALETIZADO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE VIDRIO.

Autor: Mercado Aray, Iván José.

Tutor: Romero Jorge

El objetivo de este trabajo fue rediseñar los sistemas de lubricación de los equipos en el área de empaque y paletizado de la empresa Owens Illinois de Venezuela, planta que se encarga del procesamiento de vidrio. La metodología se basó en un estudio de lubricación y de confiabilidad actual de los equipos en el área, con la finalidad de conocer las necesidades de lubricación y garantías que ofrecen los sistemas de lubricación. Seguidamente se realizó el diseño de un sistema de lubricación centralizado para los equipos que presentaban una baja confiabilidad, alto riesgo a la hora de realizar la actividad de lubricación y para los cuales era viable, debido a sus condiciones de trabajo. Para finalizar se evaluó la factibilidad económica de la propuesta de diseño, mediante un método comparativo de ingresos netos.

El rediseño de los sistemas de lubricación en base a las necesidades de la planta, soportado en los estudios de confiabilidad e inventarios de lubricación, permite alargar la vida útil de los componentes y elevar la disponibilidad de los equipos, además al centralizar la lubricación se mantienen operando los equipos de manera continua mediante la dosificación precisa de lubricante adecuado y se reducen las fallas por la actividad humana en el proceso.

ÍNDICE GENERAL

TÍTULO	Pág.
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
RESUMEN	vi
INDICE DE FIGURAS	x
INDICE DE TABLAS	xii
NOMENCLATURA	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 El problema	3
1.2 Objetivo General	5
1.3 Objetivos Específicos	5
1.4 Justificación	5
1.5 Limitaciones	6
1.6 Delimitaciones	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	7
2.1 Antecedentes Históricos de la Investigación	7
2.2 Fundamentos Teóricos.	8
2.2.1 Lubricación.	9
2.2.2 Tipos de Lubricación.	9
2.2.2.1 Lubricación Hidrodinamica	9
2.2.2.2 Lubricación Elastohidrodinamica.	10
2.2.2.3 Lubricación Marginal.	10
2.2.2.4 Lubricación Parcial.	11
2.2.3 Lubricante	11
2.2.3.1 Tipos de Lubricante	12
2.2.4 Métodos de Lubricación.	15
2.2.5 Fluido.	23
2.2.5.1 Propiedades de los fluidos	24
2.2.6 Tuberías	25
2.2.6.1 Perdidas por fricción en tuberías.	25

2.2.6.2 Perdidas por fricción en flujo Laminar.	26
2.2.6.3 Perdidas por fricción en válvulas y accesorios.	27
2.2.6.4 Ecuación general de la Energía (Teorema de Bernoulli).	28
2.2.7 Rodamientos.	28
2.2.7.1 Lubricación en Rodamientos	28
2.2.7.2 Ecuación para determinar la cantidad de grasa en un rodamiento	29
2.2.8 Confiabilidad	29
2.2.8.1 Parámetros Básicos	30
2.2.8.2 Estudio de la Confiabilidad	30
2.2.8.3 Parámetros utilizados en el estudio de Confiabilidad	30
2.2.8.4 Periodo de Vida de un Equipo	31
2.2.8.5 Periodo de Arranque o Mortalidad Infantil	32
2.2.8.6 Periodo de Operación Normal	33
2.2.8.7 Periodo de Desgaste	34
2.2.9 Criterios para Seleccionar la Solución del Sistema de Lubricación	34
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	36
3.1 Marco Metodológico	36
3.2 Nivel de la Investigación	36
3.3 Diseño de la Investigación	36
3.3.1 Fase I Recopilación de Información y estudio de la situación actual	37
3.3.2 Fase II Diagnostico de la situación problemático	38
3.3.3 Fase III Generación y Evaluación de las Alternativas de Solución	39
3.3.4 Fase IV Evaluación Económica	40
CAPÍTULO IV. DESARROLLO DEL TRABAJO	41
4.1 Evaluación de los Equipos y Análisis de la Situación Actual	41
4.1.1 Área de Empaque y Paletizado.	41
4.2 Estudio de Lubricación	55
4.3 Análisis de Confiabilidad	59
4.3.1 Evaluación de la Confiabilidad	59
4.3.2 Rediseño de los Sistemas de Lubricación	64
4.4 Generación de Soluciones	65
4.4.1 Sistema de Lubricación Transfer Car	65
4.4.2 Sistema de Lubricación Paletizador	69
4.4.3 Plan de Mantenimiento Preventivo Sistema de Transp. Paletas Llenas	71

4.5 Selección de la mejor Solución para el Sistema de Lubricación	71
4.5.1 Evaluación de las alternativas de Solución	72
4.6 Cálculos del Sistema de Lubricación	76
4.6.1 Selección del Lubricante	76
4.6.2 Selección del Diámetro y Material de la Tubería	79
4.6.3 Calculo de los Caudales Requeridos	79
4.6.3.1 Transfer Car	81
4.6.3.2 Paletizador	83
4.6.4 Calculo de Perdidas, Disponibilidades y Regimenes de Flujo	85
4.7 Confiabilidad del Sistema Diseñado	93
4.8 Sistema de Control	95
4.9 Estudio de la Factibilidad Económica del Proyecto	96
CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES	103
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	104
ANEXOS. Planos del Sistema de Lubricación.	106
APENDICE A. Inventarios de Lubricación	110
APENDICE B. Plan de Mantenimiento Preventivo Sist. Transp. Paletas Llenas	116
APENDICE C. Ponderación de las Alternativas de Solución	118
APENDICE D. Especificaciones Técnicas de las Grasas Seleccionadas	120
APENDICE E. Cálculos de los Sistemas de Lubricación	123
APENDICE F. Especificaciones de las Bombas y Distribuidores Seleccionados	135
APENDICE G. Cálculos de Confiabilidad	138
APENDICE H. Costo de los Materiales	150

INTRODUCCIÓN.

La empresa Owens Illinois de Venezuela Planta los Guayos con el propósito de mantener y mejorar sus equipos, se ha planteado el desarrollo de un proyecto para automatizar u optimizar los procesos de lubricación en el Área de Empaque y Paletizado, con la finalidad de alargar la vida útil de los equipos en planta.

Para la aplicación de este proyecto se requiere evaluar cada uno de los componentes de los equipos en su estado actual, así como también las modificaciones o rediseños que sean necesarios para adecuar un sistema de lubricación que permita centralizar la dosificación de lubricante a cada una de las partes que lo requieran y así incrementar la confiabilidad de estos; de igual manera seleccionar un lubricante que cumpla con las necesidades de lubricación, de acuerdo con las condiciones de operación de los equipos. El trabajo de grado está constituido por cuatro capítulos que se describen a continuación:

En el capítulo I se expone la situación actual que viven los equipos de planta en el área de empaque y paletizado, se describe a grandes rasgos las variables que afectan sus problemas de lubricación, planteándose los diferentes objetivos específicos para el logro del trabajo y delimitando el problema planteado.

En el capítulo II se presentan los antecedentes del trabajo de investigación y los fundamentos teóricos que definen las estrategias para abordar el problema planteado. Igualmente se describe la información referente a lubricación, sistemas de lubricación, y selección del lubricante apropiado.

En el capítulo III se hace referencia a las diferentes estrategias adoptadas para responder al problema planteado. Conforme a los objetivos específicos, se desarrollara en cuatro fases.

En el capítulo IV se desarrolla el trabajo de investigación, se determinan cada una de las variables que intervienen en el diseño del sistema de lubricación, así como los cálculos referentes a las redes de tuberías y factibilidad económica del proyecto.

Para finalizar el trabajo especial de grado se generan las diferentes conclusiones y se establecen las recomendaciones que elevaran las propuestas para futuras investigaciones.

CAPITULO I.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Problema.

El mantenimiento no es una función "miscelánea", produce un bien real, que puede resumirse en: capacidad de producir con calidad, seguridad y rentabilidad. En un tiempo pasado las empresas eran capaces de concentrar su atención, solo en la función de producción, cosa que hoy en día ha cambiado vertiginosamente y las grandes empresas se han volcado al mantenimiento como una alternativa para el desarrollo de las mismas.

La automatización de los procesos, se ha convertido, en una solución que trae consigo múltiples ventajas, las cuales son necesarias para el desarrollo y optimización de líneas de producción, disminuyendo costos, tiempo y sobre todo aumentando la confiabilidad y disponibilidad de los equipos de planta.

La lubricación en los equipos de planta es un ítem, que debe tenerse en cuenta para el buen funcionamiento de los mismos, ya que donde exista un elemento mecánico que contenga piezas móviles ahí debe estar presente la lubricación, lo que nos lleva a pensar que es un elemento importante en el rendimiento y durabilidad de los equipos. Las grandes empresas invierten grandes cantidades de dinero en automatizar sus procesos de lubricación, para lograr mejoras notables en sus planes de mantenimiento, así como en el rendimiento de sus equipos. La necesidad de automatizar este proceso, se debe a la posibilidad de eliminar las dificultades que puede tener un operario, a la hora de lubricar un equipo, más aun cuando muchos de estos necesitan lubricación controlada y debe de ponerse fuera de funcionamiento para realizar dicho proceso.



La empresa OWENS ILLINOIS ubicada en el municipio Los Guayos Edo. Carabobo, encargada del procesamiento de vidrio, destinado para productos de consumo masivo, actualmente cuenta con equipos de planta, los cuales laboran las 24 horas del día, muchos de estos equipos cumplen con un proceso de lubricación que se realiza manualmente en donde cualquier leve parada de los mismos, origina un retraso de la línea de producción y una posible pérdida de envases de vidrio.

El área de empaque y paletizado, es una de las áreas más importantes de la planta, ya que ahí se realizan las operaciones de empaque de botellas, así como el traslado y apilamiento de las mismas. Dicha área cuenta con equipos vitales para realizar las operaciones ya mencionadas, como es el caso de los sistemas de carga y descarga de paletas, sistemas de transporte, desde las bandas transportadoras hasta carros de transferencia entre otros. La mayoría de estos equipos son sumamente críticos en cuanto a lubricación, es decir, necesitan lubricación controlada y además el modo de aplicación resulta lo bastante complicado. Esto genera paradas del proceso y la falta de control de la cantidad necesaria de lubricante destinada para el equipo, por depender única y exclusivamente de la apreciación del operador, esto trae como consecuencia que los equipos tengan una baja confiabilidad. El departamento de mantenimiento, necesita diseñar un sistema automatizado de lubricación para subsanar los problemas presentados, a la hora de lubricar manualmente, como por ejemplo, paradas de línea no programadas, así como dificultades para lubricar algunas partes de los equipos que por su configuración no son de fácil acceso para el operario. Este sistema debe ser capaz de llegar con facilidad a esas partes difíciles de lubricar que poseen los equipos de esta área, para esto se desea realizar un estudio en toda el área de empaque y paletizado, revisar los sistemas actuales y el tipo de lubricante a utilizar, rediseñar los sistemas de lubricación que sean necesarios, de esta manera automatizar el proceso y a la vez controlar las variables que inciden en el proceso de lubricación, lo que permitirá optimizar el proceso y minimizar al máximo las pérdidas de tiempo ocasionadas por el servicio, y así lograr que la planta adopte este sistema con la mayoría de sus equipos.

1.2 Objetivo General.

Rediseñar el sistema de lubricación de los equipos del área de empaque y paletizado de una planta procesadora de vidrio.

1.3 Objetivos Específicos.

- Estudiar los factores que inciden en el proceso de lubricación.
- Realizar un inventario del sistema de lubricación actualmente en uso, basado en las necesidades de los equipos en el área de empaque y paletizado
- Evaluar la confiabilidad de los sistemas de lubricación del área de empaque y paletizado
- Rediseñar el sistema mecánico y de control del sistema de lubricación con una alta confiabilidad.
- Estudiar la factibilidad económica del proyecto.

1.4 Justificación.

La lubricación adecuada en equipos que trabajan de forma continua, conlleva a mejoras en la producción y mayor desempeño de la línea, por consiguiente es necesario que este proceso de lubricación se realice de manera óptima y precisa. El rediseño de este sistema será de gran utilidad para la empresa, no obstante al automatizar el proceso de lubricación, se obtendrán beneficios en cuanto a producción se refiere, buscando así una disminución en los gastos económicos de dicho proceso, además de garantizar un mayor rendimiento de los equipos, y mejorar la confiabilidad previamente estudiada para los sistemas de lubricación de dicha área, además ya no será necesario el proceso tedioso de parar el equipo para realizarle servicio y es una opción que la planta puede adoptar para sus otros equipos en las diferentes áreas.



1.6 Limitaciones.

- No se puede alterar el proceso de producción.
- No se pueden modificar las dimensiones de la maquinaria en rediseño.

1.7 Delimitaciones.

El proyecto será desarrollado solo en los espacios del área de paletizado y empaque de la empresa OWEN ILLINOIS, Planta los Guayos, este trabajo solo se va a limitar al rediseño del sistema de lubricación, no a su construcción y se va a desarrollar en los equipos más críticos que requieran una lubricación controlada.

CAPITULO II.

MARCO TEORICO.

En este capítulo se presenta un resumen de las investigaciones realizadas, que bien sea por su metodología o contenido, sirven para el desarrollo de este trabajo especial de grado, los cuales representan los antecedentes históricos, así como las bases teóricas necesarias para la comprensión de dicho trabajo.

2.1 Antecedentes Históricos de la Investigación.

A continuación se presenta un resumen de las investigaciones realizadas en el área, que sirven de base y orientación para el desarrollo de este trabajo especial de grado.

- **Hernández Rafael, Landaeta Wilma. (2000) Diseño de un sistema automático de lubricación central para la línea de clavería de una planta procesadora de alambIÓN.** El objetivo de este trabajo, fue proporcionar la información necesaria que sirviera de orientación y comparación en el diseño de sistemas de este tipo. Por otro lado diseñar el sistema de distribución más adecuado en cuanto a diámetro económico de tubería, selección de aceite adecuado de manera que en el proceso se utilice un solo tipo de aceite para involucrar la mayor cantidad de puntos a lubricar y por ultimo automatizar el sistema.

Como conclusiones más importantes de este trabajo se pudo decir que se logró la reducción del consumo de aceite en un 50%, el sistema no requiere de mucha atención por parte del operador.

- **Morillo Aurora, Artigas Víctor. (1980) Diseño y construcción de un equipo para laboratorio de lubricación.** El objetivo de este trabajo, fue construir un

aparato a ser usado en la escuela de ingeniería mecánica para mostrar por medio de un ensayo el fenómeno de lubricación hidrodinámica, enfocado específicamente sobre un cojinete radial de 180 grados, en dicho ensayo se logro ver como se distribuye la presión en las direcciones longitudinales y transversal.

Como conclusiones más importantes se puede decir que, se logro obtener un dispositivo educativo que muestre en forma práctica el fenómeno de la lubricación hidrodinámica, de tal manera que en un futuro se le puedan realizar variaciones.

- **Bustamante Carlos, Vequiz Kessla. (2006) Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para una máquina de temple (Quench & Temper).** El objetivo de este trabajo, fue diseñar un plan de mantenimiento preventivo para la máquina de temple acorde con las normas ISO 9000, así como el diseño del sistema de lubricación y selección de los lubricantes adecuados a las condiciones de operación.

Como conclusiones más importantes se puede decir que, con el plan de mantenimiento se logro incrementar la producción y aumentar el tiempo máximo de funcionamiento de los equipos; disminuyendo las paradas no planificadas de los equipos y extendiendo la vida útil de los componentes.

El sistema de lubricación planteado permitió mantener los equipos operando en óptimas condiciones mediante la dosificación precisa de lubricante; de tal manera que alarga la vida útil de los componentes en contacto y además elimina al personal riesgo de trabajar en condiciones inseguras.

2.2 Fundamentos teóricos.

A continuación se definen los fundamentos teóricos que se tendrán en consideración, los modelos matemáticos a seguir en cálculos posteriores y los procedimientos a desarrollar en el presente trabajo.

2.2.1 Lubricación. (Lubricar, 2008)

La teoría de la lubricación es básica y necesaria para la operación de casi todas las máquinas. Sin lubricación, casi todas las maquinarias no funcionan, o si funcionan lo hacen por poco tiempo antes de arruinarse. Varios estudios hechos en EEUU concluyeron que si la tecnología actual de lubricación fuera accesible a toda la población, se mejoraría el producto interno bruto un 7 %. La industria de lubricantes constantemente mejora y cambia sus productos a medida que los requerimientos de las máquinas nuevas cambian y sus nuevos procesos químicos y de destilación son descubiertos. Un conocimiento básico de la tecnología de lubricación ayudara a elegir mejor los lubricantes para cada necesidad.

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 la fricción más pequeña 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.

2.2.2 Tipos de lubricación. (op. cit)

2.2.2.1 Lubricación hidrodinámica.

La lubricación hidrodinámica también se denomina lubricación de película gruesa o espesa. En esta situación, la película de lubricante separa completamente las superficies en movimiento. La fricción es mucho menor que en la lubricación de capa limite; no hay ningún contacto metálico entre las superficies en movimiento. El espesor de esta capa depende de un balance entre la entrada y la salida de aceite.

El espesor de equilibrio de la capa de aceite se puede alterar por:

- Incremento de la carga, que expulsa aceite
- Incremento de la temperatura, que aumenta la pérdida de aceite
- Cambio a un aceite de menor viscosidad, que también aumenta la pérdida de aceite
- Reducción de la velocidad de bombeo, que disminuye el espesor de la capa.

2.2.2.2 Lubricación Elasto-hidrodinámica.

A medida que la presión o la carga se incrementan, la viscosidad del aceite también aumenta. Cuando el lubricante converge hacia la zona de contacto, las dos superficies se deforman elásticamente debido a la presión del lubricante. En la zona de contacto, la presión hidrodinámica desarrollada en el lubricante causa un incremento adicional en la viscosidad que es suficiente para separar las superficies en el borde de ataque del área de contacto. Debido a esta alta viscosidad y al corto tiempo requerido para que el lubricante atraviese la zona de contacto, hacen que el aceite no pueda escapar, y las superficies permanecerán separadas.

La carga tiene un pequeño efecto en el espesor de la capa, debido a que a estas presiones, la capa de aceite es más rígida que las superficies metálicas. Por lo tanto, el efecto principal de un incremento en la carga es deformar las superficies metálicas e incrementar el área de contacto, antes que disminuir el espesor de la capa de lubricante.

2.2.2.3 Lubricación Marginal.

Como en la lubricación marginal los sólidos no están separados por el lubricante, los efectos de la película fluida son insignificantes y existe un contacto de las asperezas importante. El mecanismo de lubricación por contacto se rige por las propiedades físicas y químicas de las películas delgadas de superficie de proporciones moleculares. La fricción es esencialmente independiente de la viscosidad del fluido. Las propiedades de los sólidos y de la película lubricante en las interfaces comunes determinan las

características de fricción. El espesor de las películas varía de 1 a 10 μm , dependiendo del tamaño molecular.

La lubricación marginal se utiliza en los elementos de máquinas con cargas pesadas y bajas velocidades de operación, donde es difícil obtener una lubricación por película fluida.

2.2.2.4 Lubricación Parcial.

Si las presiones en los elementos de máquinas lubricados elastohidrodinamicamente resultan demasiado altas o las velocidades de operación son demasiado bajas, la película de lubricante se dispersa; habrá algún contacto entre las asperezas, y entonces ocurrirá la lubricación parcial. El comportamiento de la conjunción en un régimen de lubricación parcial se rige por una combinación de efectos marginales y de película fluida. La interacción ocurre entre una o más capas moleculares de lubricación marginal. La acción parcial de la lubricación de película fluida se desarrolla en el volumen del espacio entre los sólidos. El espesor promedio de la película en una conjunción de lubricación parcial es menor que 1 μm y mayor que 0,01 μm .

2.2.3 Lubricante. (Avellone, 1995).

Las funciones básicas de un lubricante son: reducción de la fricción, disipación del calor y dispersión de los contaminantes. El diseño de un lubricante para realizar estas funciones es una tarea compleja, que involucra un cuidadoso balance de propiedades, tanto del aceite de base como de los aditivos.

2.2.3.1 Tipos de Lubricantes.

- **Aceites Lubricantes.**

Son sustancias de origen animal, mineral, vegetal o sintético formada por esterres de ácidos grasos o por hidrocarburos derivados del petróleo, dichas sustancias generan películas lubricantes mas uniformes por lo que se prefiere en lo posible su uso debido que son mejor refrigerante, generan menos calor, son más fácil de aplicar y de manejar.

Aceites minerales: Son aceites derivados de una fuente mineral, tal como el petróleo; se encuentran en mezclas libres de compuestos inestables, tales como nitrógeno, oxígeno, compuestos de azufre y ácidos que puedan afectar la vida de servicio de los elementos de máquinas en contacto. Los aceites minerales cubren aproximadamente un 90% de la demanda de aceites lubricantes.

Aceites sintéticos: son aquellos obtenidos por síntesis química, ya que no existen en la naturaleza. Una de las grandes diferencias de los aceites sintéticos frente a los minerales es que presentan una estructura molecular definida y conocida, propiedades predecibles, estabilidad térmica, oxidación y viscosidad.

- **Grasa Lubrificante.**

La grasa es una dispersión semilíquida a solida de un agente espesante en un líquido (aceite base) para aumentar la capacidad de carga, resistencia a la oxidación y formación de herrumbre. Las grasas tienen algunas ventajas sobre el aceite, debido que evita que el lubricante se escape o gotee, los periodos de re lubricación son más largos (semanales o mensuales) y soporta altas temperaturas.

Aditivos en las Grasas.

Se utilizan para proporcionar características adicionales tales como: protección contra el desgaste y la corrosión, efectos para reducir el rozamiento y prevenir daños bajo condiciones límites. Estos aditivos a veces son lubricantes sólidos como el grafito, di sulfuro de molibdeno, polvos metálicos o polímeros.

- Propiedades de las grasas.

Consistencia.

Es una medida de la rigidez de una grasa, y es el factor que describe la facilidad con que una grasa podrá ser bombeada y fluir a través de tuberías y empalme, la consistencia se clasifica de acuerdo con una escala desarrollada por el NLGI (National Lubricate Grease Institute). Esta escala basada en el grado de penetración obtenido permitiendo que se hunda un cono estándar en la grasa a una temperatura de 25 °C durante un periodo de cinco segundos. La profundidad de penetración se mide en una escala de 10^{-1} mm y cuanto más alto es el número, menos rígida es la grasa.

Tabla 2.1. Límites de consistencia de las grasas. (Avellone, Eugene 1995)

Consistencia NLGI	Penetración (10^{-1} mm)	Aspecto a temperatura ambiente
000	445-475	Muy fluido
00	400-430	Fluido
0	355-385	Semifluido
1	310-340	Muy blando
2	265-295	Blando
3	220-250	Semiduro
4	175-205	Muy duro
5	130-160	Muy duro
6	85-115	Extremadamente

Extrema presión.

La resistencia a la extrema presión es una propiedad esencial para las grasas usadas en maquinarias de trabajo pesado sujetas a cargas extremas o golpes. Los aditivos pueden ser incorporados para prevenir ralladuras que tendrían lugar cuando las presiones extremas rompen la película protectora de la grasa.

Estabilidad a altas temperaturas.

A altas temperaturas, las grasas están sometidas a la evaporación del aceite base, oxidación y cambio estructura. La estabilidad a altas temperaturas depende tanto de un tiempo como de la temperatura de exposición.

Estabilidad mecánica.

Es la resistencia de la grasa al cambio estructural causado por el trabajo mecánico durante el servicio.

Estabilidad a la oxidación.

Es la resistencia de una grasa a los cambios químicos a través del tiempo. La oxidación de una película fina de grasa en servicio dejara como resultado un residuo gomoso.

Protección anti-corrosiva

Es sumamente importante en ambientes húmedos y especialmente durante largos periodos de parada. A pesar de que las grasas proveen una buena protección contra la corrosión bajo condiciones dinámicas, la humedad atacara la superficie del metal cuando no hay movimiento.

Resistencia al agua.

Esta varía con los diferentes tipos de grasa. La resistencia esta determinada por la viscosidad del aceite base y tipo de espesante. Las grasas clasificadas como resistentes al agua pueden absorber de un 25 % hasta un 100% de su peso en agua sin perder consistencia ni adhesividad.

Punto de goteo.

Es la temperatura a la que al calentar la muestra de grasa esta comienza a fluir a través de un orificio.

2.2.4 Métodos de Lubricación. (Felkai, 1987).

A continuación se explican con detalles los métodos y dispositivos de lubricación más utilizados en la industria para realizar la lubricación de los elementos de máquina.

- **Dispositivo de lubricación manual.**

En los dispositivos de lubricación manual, el control de la cantidad de lubricante aplicado y del intervalo o frecuencia depende del factor humano.

En la aplicación manual del lubricante se usan dispositivos como aceiteras, graseras espátulas y brochas.

El costo inicial de estos dispositivos es bajo y el costo de mantenimiento es alto. El lubricante esta propenso a ser contaminado en el manejo y la aplicación.

Estos dispositivos se emplean para la lubricación de equipos con pocas horas de operación y para cojinetes de baja carga o baja velocidad.



Fig. 2.1. Pistola de lubricación.

Fuente. Ehgriffith, 2008. [En red]

- **Dispositivo de lubricación por goteo.**

En el dispositivo de lubricación por goteo el lubricante es suministrado gota por gota al lugar exacto de aplicación, cayendo por gravedad o por aplicación de presión de la copa gotera que lo contiene. El dispositivo debe quedar exactamente en la parte superior del elemento a lubricar. El lubricante es almacenado en un reservorio o deposito. En la figura 2.2 se muestra un sistema de lubricación por goteo aplicado a una cadena

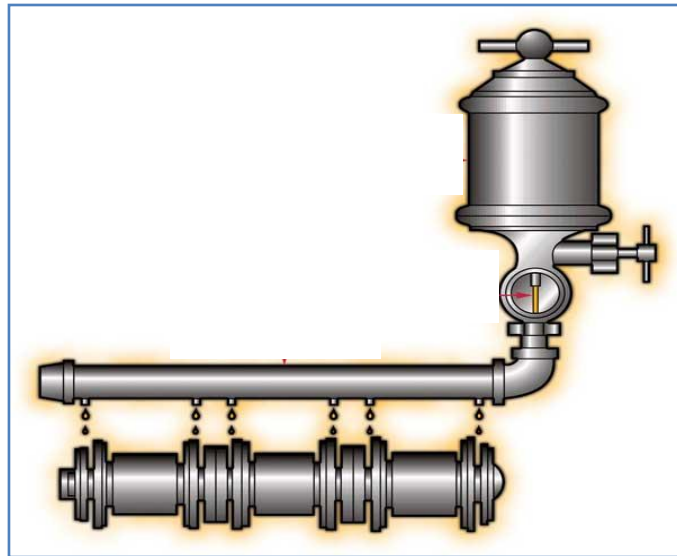


Fig. 2.2 Sistema de Lubricación por goteo.

Fuente. Rexnord, 2008. [En red]

El goteo es controlado, en cuanto a cantidad y frecuencia, evitando el exceso y la falta de lubricante en el elemento de máquina. El depósito del lubricante debe ser rellenado e inspeccionado si es necesario.

Estos dispositivos de lubricación ofrecen más seguridad y menos atención que el sistema manual. El problema de las copas es que el flujo de aceite depende de su viscosidad y el nivel de aceite en la copa. Un aumento en la temperatura del ambiente disminuye la viscosidad y con ello aumenta el flujo de aceite.

Este sistema se utiliza para lubricar cojinetes planos, de antifricción, engranaje recto abierto con poca velocidad, caja de engranaje.

- **Sistema de lubricación por rocío o por neblina.**

En el sistema de lubricación por rocío el aceite es inyectado en una línea de aire por medio de una bomba desde un reservorio de lubricante formando una mezcla de aire – aceite que es rociado sobre el punto de aplicación.

El costo inicial del sistema es relativamente alto; sin embargo, los costos de mantenimiento son bajos. El flujo de aceite es controlado automáticamente, parando al cesar de trabajar el equipo a lubricar y existe poca posibilidad de contaminación del aceite, debido a que no se re circula.

El sistema de lubricación por rocío se emplea regularmente en cojinetes de altas revoluciones, engranajes cerrados, cadenas y guías.

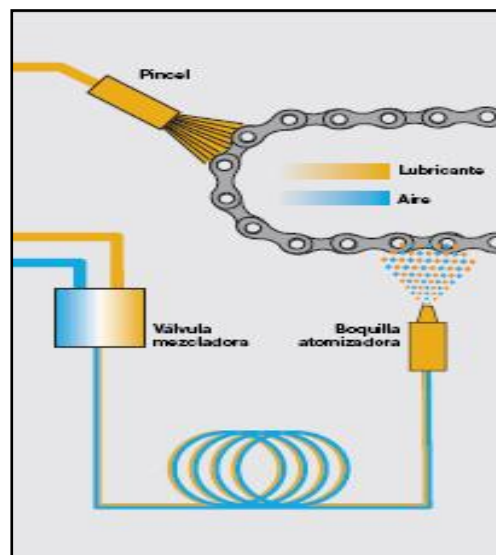


Fig. 2.3. Lubricación por neblina.

Fuente. Lubritec, 2008. [En red]

- **Sistema de Lubricación centralizada.**

El principio de funcionamiento consiste en utilizar una bomba para repartir grasa o aceite desde un depósito central hacia los puntos de lubricación de forma completamente automática. Este sistema aporta perfectamente las cantidades de grasa o aceite especificadas por los fabricantes de maquinaria. Todos los puntos de lubricación alcanzados reciben el suministro óptimo de lubricante, reduciendo el desgaste. Como consecuencia se incrementa considerablemente la vida de servicio de los elementos de la máquina y a su vez se reduce el consumo de lubricante.

Sistema de línea simple.

Los sistemas de lubricación centralizada por línea simple están diseñados para alimentar los puntos de lubricación de la máquina con cantidades relativamente pequeñas de lubricante conforme a las necesidades de los puntos, ya que nos permiten lubricar intermitentemente, aportando una cantidad definida cada vez que se realiza un ciclo. Los dosificadores intercambiables de los distribuidores con distinto caudal nos permiten también repartir el lubricante exacto en cada pulso o ciclo de trabajo de la bomba. El rango medido varía desde 0,01 a 1,5 cm³ por ciclo y punto de lubricación. Los sistemas de línea simple pueden ser utilizados tanto para aceite como para grasa fluida (NLGI grados 000, 00).

Las maquinarias y partes donde más se aplica este sistema son: Máquina herramienta, maquinaria de impresión, industria textil, maquinaria de embalaje, etc.

Los principales componentes de estos sistemas de línea simple son:

- Bomba (bomba de pistón o bomba de engranaje).
- Distribuidores volumétricos.
- Dosificadores.
- Control y unidad de monitorización dependiendo de la configuración del sistema.

Este sistema ofrece:

Planificación simple del sistema, Sistema modular, fácilmente ampliable.

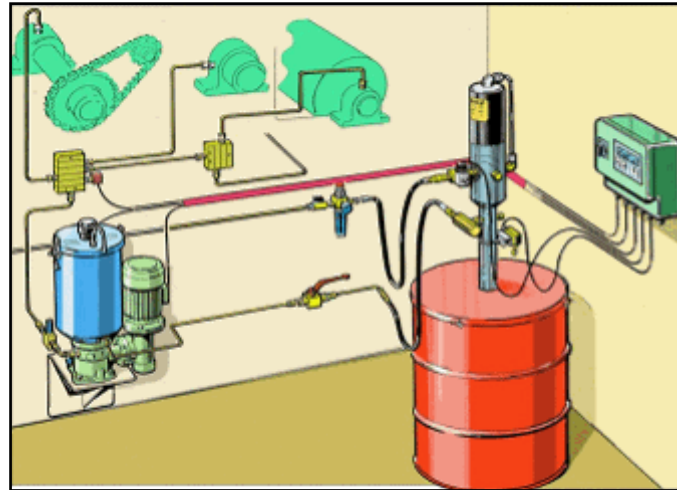


Fig. 2.4. Sistema de Línea Simple.

Fuente. Industrysearch, 2008. [En red]

Sistema de línea doble

Este sistema de lubricación centralizada, está basado en 2 líneas principales, que son presurizadas y despresurizadas alternativamente. Está diseñado para aceite ISO VG con una viscosidad mayor de 50 mm² también para grasa de hasta grado NLGI 3. Estos sistemas pueden diseñarse para circuitos abiertos en operaciones intermitentes.

Los sistemas de línea doble se usan para lubricar máquinas e instalaciones con un gran número de puntos de lubricación, largas distancias y condiciones adversas de funcionamiento. Plantas de generación (turbinas, ventiladores), acerías, fundiciones, trenes de laminado, hornos continuos, minería (roto palas), cintas de transporte, plantas de azúcar (molinos y secadores), industria de la alimentación (líneas envasadoras), industria química, petroquímica, fábricas de cemento, canteras, etc.

Los principales componentes de este sistema de doble línea son:

- Bomba neumática o eléctrica con depósito o sobre barril.
- Válvula inversora.

- Unidad de control.
- Distribuidores de línea doble.
- Presostatos y dos líneas principales, así como de todos los racores y material necesario para su instalación.

Estos sistemas presentan:

Elevada seguridad de trabajo gracias a la medida de la diferencia de presión al final de las líneas, así como fácil supervisión.

Facilidad de cambio en la aportación de grasa a cada uno de los puntos por el uso de distribuidores de línea doble.

Tamaño del sistema, con posibilidad de más de 1000 puntos de lubricación dentro de un rango de 100 m (longitud de línea efectiva) alrededor de la bomba.

Seguridad de operación en los puntos de lubricación gracias a que la presión máxima del sistema es de 400 bars.

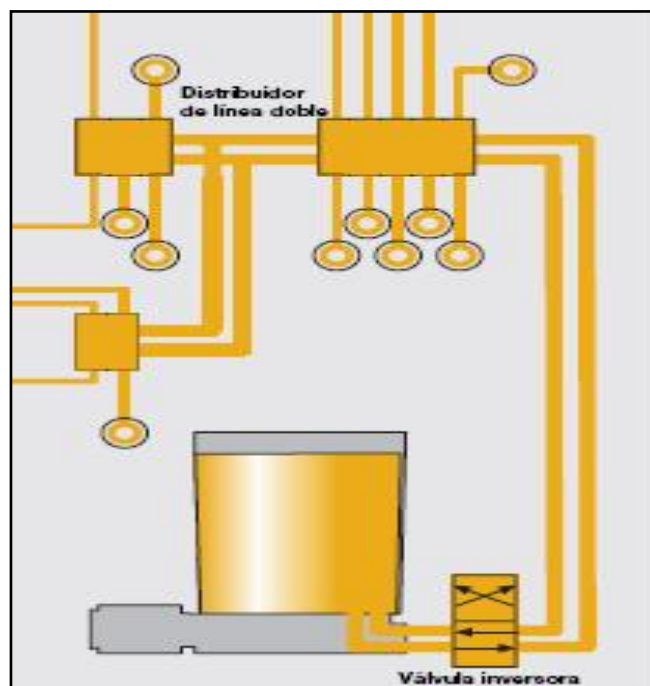


Fig. 2.5. Sistema de Doble Línea.

Fuente. Lubritec, 2008. [En red]

Sistema progresivo

Estos sistemas reparten aceite o grasa de hasta grado NLGI 2 en operaciones intermitentes, con posibilidad de instalar supervisión central. El lubricante impulsado por la bomba es conducido hacia los distribuidores progresivos, que dividen la cantidad de lubricante según la dimensión de la recámara del pistón y en función de la cantidad de salidas de cada distribuidor. Se pueden realizar modificaciones de caudal dependiendo de los puntos de engrase intercambiando las secciones de cada distribuidor.

Este sistema puede ser utilizado en: Máquinas de impresión, maquinaria de construcción, maquinaria industrial, prensas, plantas embotelladoras, instalaciones de energía eólica, etc.

Sus principales componentes son:

- Bomba.
- Distribuidores progresivos y sistemas de control, así como racores y material auxiliar para el montaje. Las bombas empleadas pueden ser bombas de pistón, operadas neumática o manualmente, o bien bombas eléctricas.

Sistema versátil de amplia implantación en muy diversos sectores de operación (continuo / intermitente) y adecuación a diferentes lubricantes.

Monitorización centralizada del funcionamiento de todos los distribuidores a un bajo coste.

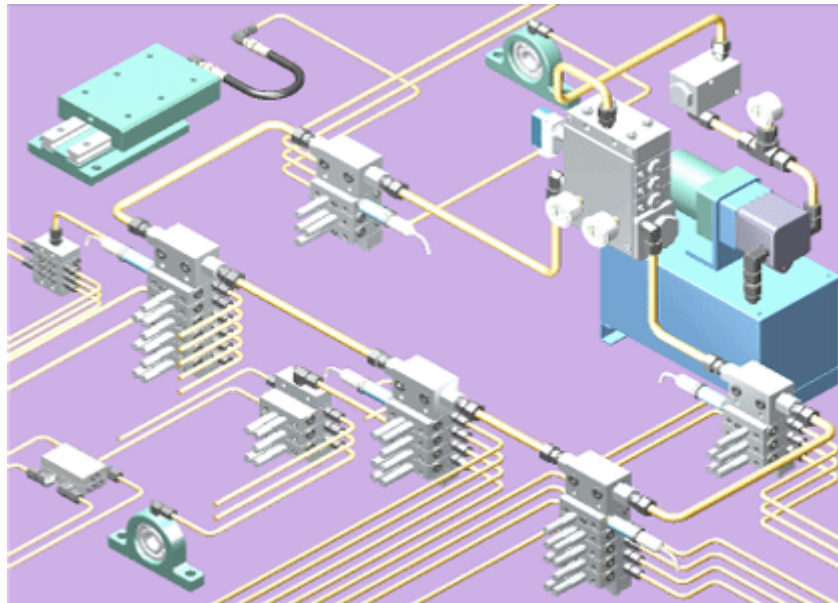


Fig. 2.6. Sistema progresivo de Lubricación.

Fuente. Skdstar, 2008. [En red]

2.2.5 Fluido. (Mott, 1996)

Es una sustancia que se deforma continuamente bajo la acción de un esfuerzo de corte, por tanto, en ausencia de este, no habrá deformación. Los fluidos pueden clasificarse de manera general de acuerdo con la relación entre el esfuerzo de corte aplicado y la relación de deformación.

- **Fluidos Newtonianos.**

Los fluidos en que los esfuerzos de corte son directamente proporcionales a la tasa de deformación son fluidos newtonianos. Los fluidos más comunes tales como el agua el aire y la gasolina son newtonianos en condiciones normales.

- **Fluidos no newtonianos.**

Los fluidos en los cuales el esfuerzo de corte no es directamente proporcional a la relación de deformación son no newtonianos, se clasifican con respecto a su comportamiento en el tiempo, es decir, pueden ser dependientes del tiempo o independientes del mismo. Los fluidos tales como plásticos, sangre, suspensiones, pinturas.

2.2.5.1 Propiedades de los fluidos.

Los fluidos, como todos los materiales, tienen propiedades físicas que permiten caracterizar y cuantificar su comportamiento así como distinguirlos de otros. Algunas de estas propiedades son exclusivas de los fluidos y otras son típicas de todas las sustancias. Características como la viscosidad, tensión superficial y presión de vapor solo se pueden definir en los líquidos y gases. Sin embargo la masa específica, el peso específico y la densidad son atributos de cualquier materia.

- Densidad (ρ).

Se denomina densidad de un fluido a la masa por unidad de volumen.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

- Peso específico. (γ)

El peso específico de un fluido es su peso por unidad de volumen

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

- Viscosidad.

La viscosidad es una propiedad distintiva de los fluidos. Está ligada a la resistencia que opone un fluido a deformarse continuamente cuando se le somete a un esfuerzo de corte.

- Viscosidad dinámica (μ).

Es la fuerza tangencial por unidad de área, de los planos paralelos por una unidad de distancia, cuando el espacio que los separa está lleno con un fluido y uno de los planos se traslada con velocidad única en su propio plano con respecto al otro.

- Viscosidad cinemática (ν).

Es su viscosidad dinámica dividida entre su densidad, las unidades son pie^2/s y en el sistema c.g.s, la unidad es el stoke ($1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$); pero por conveniencia se usa más el centistoke. (1/100 stoke)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

2.2.6 Tuberías. (Crane, 1992)

Es un conducto que se utiliza para transportar fluidos y sólidos, sirven como elemento de interconexión entre accesorios y equipos en una planta de proceso.

2.2.6.1 Pérdida por fricción en tuberías.

Es la pérdida de energía disponible debido a rozamiento de las partículas del flujo entre sí.

Las pérdidas por fricción se rigen por la ecuación general 2.5 de la pérdida de presión, conocida como la fórmula de Darcy y se expresa en metros de columna de fluido. Dicha ecuación es válida tanto para flujo laminar como para flujo turbulento de

cualquier liquido en una tubería. Entendiéndose como flujo la cantidad materia que pasa por una sección transversal en una unidad de tiempo.

$$\dot{m} = \frac{m}{t} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

$$hf = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

$$\text{Ya que el caudal } Q = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Velocidad promedio de flujo en una sección transversal.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{\dot{m}}{\rho \times A} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Área de la sección transversal.

$$A = \pi \frac{D^2}{4} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

$$hf = f \times \frac{L}{D} \times \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (\text{Ec. 2.9})$$

$$Re = \frac{V \times D \times \rho}{\mu} = \frac{V \times D}{\nu} \quad (\text{Ec. 2.10})$$

2.2.6.2 Perdida por fricción en flujo laminar.

Cuando se tiene un flujo laminar, el fluido parece desplazarse en forma de varias capas, una sobre la otra; debido a la viscosidad del fluido se crea una tensión de corte entre las capas del fluido. La disponibilidad del fluido se pierde mediante la acción de vencer la fuerza de fricción producida por la tensión de corte. Puesto que el flujo laminar es tan regular y ordenado, se puede derivar una relación entre las pérdidas y los

parámetros medibles del sistema de flujo. Esta relación se conoce como la ecuación de “Hagen-Poiseuille”.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (\text{Ec. 2.11})$$

Ecuación de la pérdida de energía en función del caudal.

$$hf = \frac{32 \times v \times L}{D^2 \times g \times A} \times Q \quad (\text{Ec. 2.12})$$

El numero de Reynolds se obtiene según

$$Re = \frac{4 \times Q}{\pi \times Di \times v} \quad (\text{Ec. 2.13})$$

2.2.6.3 Pérdida por fricción en válvulas y accesorios.

Cuando un fluido se desplaza uniformemente por una tubería larga y de diámetro constante, la configuración del flujo indicado por la distribución de la velocidad sobre el diámetro de tubería adopta una forma característica. Cualquier obstáculo en la tubería cambia la dirección de la corriente en forma total o parcial, altera la configuración característica del flujo y ocasiona turbulencia, causando una pérdida de energía mayor de la que normalmente se produce en un flujo por una tubería recta. Ya que las válvulas y accesorios en una línea de tubería alteran la configuración del flujo, producen una pérdida de presión adicional que se reportan en términos de un coeficiente de resistencia, K de la siguiente forma:

$$h_L = K \times \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Ec. 2.14})$$

2.2.6.4 Ecuación general de la energía (Teorema de Bernoulli). (Mott, 1996)

El teorema de Bernoulli es una forma de expresión de la ley de la conservación de la energía al flujo de fluidos en una tubería. La energía total en un punto cualquiera por encima de un plano horizontal arbitrario fijado como referencia, es igual a la suma de la altura geométrica, la altura debido a la presión y la altura debido a la velocidad.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho_1 x g_n} + \frac{V_1^2}{2g_n} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho_2 x g_n} + \frac{V_2^2}{2g_n} + h_1 \quad (\text{Ec. 2.15})$$

2.2.7 Rodamientos. (SKF, 1996)

Se diseñan para soportar y ubicar los arboles o piezas rotatorias de las máquinas, transfieren las cargas entre los elementos rotatorios y los estacionarios y permiten la rotación relativamente libre con un mínimo de fricción. Constan de elementos rodantes (bolas o rodillos) entre un anillo exterior y uno interior.

2.2.7.1 Lubricación de rodamientos.

Teóricamente, un rodamiento correctamente lubricado y funcionando en condiciones ideales, duraría eternamente. Lógicamente, esto no es posible en la realidad. Pero un rodamiento que está correctamente lubricado tiene más posibilidades de alcanzar su vida máxima de servicio.

El lubricante forma una película entre las superficies de rodadura y deslizamiento de un rodamiento, con lo cual se evita el contacto de metal – metal incluso bajo una carga elevada.

Los rodamientos se lubrican normalmente con grasa o aceite. En casos especiales se emplea un lubricante solido.

Lubricación con grasa.

En los casos en que el rodamiento funciona en condiciones normales de velocidad y temperatura se elige la grasa como lubricante. Como lubricante la grasa presenta diversas ventajas con respecto al aceite; requiere un sistema más sencillo y barato, mejor adhesión, y protección contra la humedad y los contaminantes del ambiente de trabajo.

Lubricación con aceite.

El aceite es el lubricante apropiado cuando la velocidad y/o las condiciones de funcionamiento no permiten usar grasa o cuando es necesario evacuar el calor del rodamiento; muchas veces se emplea aceite debido a los requisitos de otros componentes, es decir, obturaciones, engranajes, cojinetes lisos, etc.

2.2.7.2 Ecuación para determinar la cantidad de grasa en un rodamiento.

La cantidad de grasa en un rodamiento se determina mediante la siguiente ecuación (SKF, 1996). Utilizando las dimensiones del rodamiento.

$$G = 0,005 \times D \times B \quad (\text{Ec. 2.16})$$

Donde:

D = Diámetro Externo del Rodamiento.

B= Ancho del rodamiento

2.2.8 Confiabilidad. (Nava, 2004)

Se define la confiabilidad como la probabilidad de que un componente o equipo no falle estando en servicio durante un periodo de tiempo determinado, cuando es operado en condiciones razonablemente uniformes de presión, temperatura, velocidad, vibración, etc. También se puede expresar como la probabilidad de que un componente

o equipo lleve a cabo su función adecuadamente durante un periodo bajo condiciones operacionales dadas.

Se dice que un equipo es confiable cuando funciona cada vez que se necesita y realiza bien el trabajo para el cual fue diseñado, de lo contrario se dice que no es confiable.

2.2.8.1 Parámetros Básicos.

1. **Probabilidad de supervivencia.** $r(t)$: Es el término sinónimo de confiabilidad.
2. **No confiabilidad:** Es la definición opuesta a la confiabilidad, es decir la probabilidad de que un equipo falle en operación durante un periodo dado de tiempo o bajo un tiempo específico de interés.
3. **Probabilidad de falla.** $P_f(t)$: Es el término que representa la no confiabilidad.

2.2.8.2 Estudio de la confiabilidad.

Para el estudio de la confiabilidad, es necesario realizar un buen análisis de fallas. Si se tiene un equipo sin falla, se puede decir que dicho equipo es cien por ciento confiable, o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno.

Cuando la frecuencia de falla aumenta, se puede afirmar que la confiabilidad decrece.

2.2.8.3 Parámetros utilizados en el estudio de la confiabilidad.

Los parámetros utilizados en el estudio de confiabilidad de un equipo o componente son: el tiempo medio entre fallas (TPEF o MTEF), la probabilidad de supervivencia $r(t)$ y la tasa de fallas $\alpha(t)$.

- **Tiempo promedio entre fallas (TPEF o MTEF).**

El tiempo promedio entre fallas, indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de una falla. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo.

- **Probabilidad de supervivencia.**

Si el componente o equipo no ha fallado es porque está operando adecuadamente, es decir, que la probabilidad de supervivencia es complemento de la probabilidad de falla, es decir. $r(t) = 1 - P_f(t)$.

- **Rata de fallas.**

La rata de fallas, también llamada frecuencia de ocurrencia de fallas, se define como la probabilidad casi inmediata de falla de un componente o equipo al llegar al tiempo hora de operación.

Para el cálculo de la tasa de falla constante se involucran dos aspectos fundamentales, la cantidad de fallas que hay en la zona y la cantidad de horas de operación que tienen los equipos en cada zona. Según (Valles, 2001), la ecuación para el cálculo correspondiente a la rata de fallas es la siguiente

$$\alpha = \frac{\text{número de fallas}}{\text{tiempo de operación}} \quad (\text{Ec. 2.17})$$

2.2.8.4 Periodo de vida de un equipo.

La vida útil de un equipo está dividida en tres periodos separados, los cuales se definen en función del comportamiento de la rata de fallas.

1. Periodo de arranque.
2. Periodo de operación normal.
3. Periodo de desgaste.

2.2.8.5 Periodos de arranque o de mortalidad infantil.

Las características resultantes de este periodo son:

Índices de fallas decrecientes; es decir, al aumentar el tiempo la rata de falla decrece.

- La probabilidad de falla de mañana es menor que la probabilidad de falla hoy.
- En este periodo están todos los equipos de una planta recién arrancada y se caracterizan por un alto nivel de rotura, además de que su confiabilidad es muy baja.
- Generalmente, la corrección de los defectos de fábrica le corresponde al grupo de arranque, hasta el punto donde la frecuencia de fallas disminuye y llega estabilizarse en un índice constante; en este momento, el equipo se le entrega al grupo de operaciones.

Las fallas son debidas a:

Defectos de material.

Errores humanos.

Componentes fuera de especificación durante el ensamblaje.

Cada vez que se le hace reparación general (over-haul) a un equipo, comienza un nuevo periodo de arranque. Algunos autores recomiendan una inspección posterior a una reparación general (post-overhaul) a las 200 o 700 horas de operación después de este.

Normalmente un equipo tiene una probabilidad de falla más alta inmediatamente después de la reparación general que inmediatamente antes.

Las frecuencias de estas fallas tienden a disminuir a medida que los componentes son reemplazados y los errores subsanados hasta que finalmente la rata se estabiliza y el equipo entra en un periodo de operación normal.

El periodo de arranque aun cuando no ha sido descrito matemáticamente, es fácil de identificar sin la ayuda de formulas y gráficos además de que el problema de prevención escapa normalmente de la jurisdicción del departamento de mantenimiento.

2.2.8.6 Periodo de operación normal.

Las características de este periodo son.

- Cubre la mayor parte de la vida de un equipo.
- Índice de fallas es constante, es decir, la rata de fallas no varía mientras ocurre el envejecimiento del equipo.
- Es tan factible que ocurra una falla ahora, como que suceda mas tarde.
- Las fallas ocurren totalmente al azar y son imposibles de predecir.

Las fallas son debidas.

- Repentinias acumulaciones de esfuerzos por encima de la resistencia de diseño de los componentes.

El mecanismo de fallas del periodo de operación normal puede caracterizarse usando la distribución exponencial.

$$P_S = e^{-\alpha t} \quad (\text{Ec. 2.18})$$

$$\frac{1}{MTTEF} = \alpha = \text{constante.} \quad (\text{Ec. 2.19})$$

Donde:

$r(t)$ = confiabilidad.

t = intervalo de tiempo en consideración.

α = rata de falla

2.2.8.7 Periodo de desgaste.

Con el tiempo, todo equipo se desgasta y envejece y todo material se degrada. La característica que resalta la presencia de este periodo puede expresarse de la siguiente forma.

Un índice de falla creciente, es decir, al aumentar el tiempo, la rata de fallas se incrementa.

Las fallas son debidas a:

- Fatiga.
- Desgaste mecánico.
- Corrosión.
- Erosión.

Cuando un equipo entra en este periodo, debe someterse a una reparación general, idealmente esto debe hacerse cuando la rata de fallas empieza a aumentar.

2.2.9. Criterios para seleccionar la solución del sistema de lubricación.

(Bustamante Carlos y Vequiz Kessler; 2006)

Mantenibilidad: Se refiere a la facilidad, rapidez y frecuencia con la cual los equipos requieren de operaciones de mantenimiento para el buen funcionamiento del sistema.

Eficiencia: Se refiere a la calidad y rapidez de operación de un equipo respecto al otro.



Efectividad: Es la capacidad que tiene el sistema de llevar a cabo sus funciones.

Disponibilidad: Es la facilidad que existe para adquirir los equipos e instrumentos para el sistema.

Confiabilidad: Se refiere a las garantías que ofrezca el sistema de mantenerse operativo.

Seguridad: Se refiere al grado de peligrosidad al que se exponen los operadores al manipular el sistema.



CAPÍTULO II



CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO.

3.1 Marco metodológico.

Para el logro de los objetivos planteados se hace necesario el uso de una metodología del proyecto que involucra el tipo de investigación y las diferentes técnicas y procedimientos necesarios para realizar el estudio y dar respuesta al problema planteado. A continuación se describen las utilizadas en este trabajo.

3.2. Nivel de la investigación.

El proyecto a desarrollar es del tipo factible, los objetivos de este trabajo y el nivel de conocimiento que se quiera obtener sobre lo planteado se presenta a través de una investigación del tipo descriptiva, ya que los estudios de este tipo buscan especificar las propiedades, características y perfiles de objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a análisis ; y del tipo explicativa, ya que se encarga de buscar el por qué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa – efecto. (Sampieri, 2006)

3.3. Diseño de la investigación.

El proyecto se realizara siguiendo una estrategia de investigación de campo, ya que dicha investigación tendrá lugar en la planta, todo esto con la finalidad de establecer los parámetros necesarios para que el diseño cumpla con las necesidades del proceso que se lleva a cabo en el área de estudio y así mismo recopilar toda la

información necesaria para la correcta selección de los materiales y equipos a utilizar en el diseño.

A continuación se presentan una serie de pasos que describen una secuencia lógica de la metodología a utilizar para la elaboración del trabajo especial de grado.

3.3.1 Fase I: Recopilación de información y estudio de la situación actual del sistema de lubricación de los equipos en el área de empaque y paletizado.

En esta fase de la investigación se recopila toda la información necesaria acerca del proceso de lubricación usado para los equipos en el área de empaque y paletizado de la empresa, así como también el proceso de control del mismo, con el fin de identificar las fortalezas y debilidades, para de esta forma ampliar el panorama para la solución de los problemas planteados. Esto se realiza por medio de una exhaustiva revisión bibliográfica y documentación mediante información suministrada por la empresa, así como también mediante la Internet, acerca de todos los tópicos relacionados con la investigación, con el fin de conocer a fondo el proceso de lubricación de la planta y de otras empresas similares que presenten el mismo sistema. Esto se logra por medio de las siguientes actividades:

- Seleccionar los equipos a estudiar en el área de empaque y paletizado de la planta.
- Explicar la función y la operación que cumple cada uno de los equipos dentro del proceso productivo.

- Describir el proceso de lubricación de los equipos en estudio, a través de la realización de inventarios de las necesidades de lubricación que permitan obtener datos como:
 - ✓ Puntos a lubricar.
 - ✓ Tipo de lubricante.
 - ✓ Método de lubricación.
 - ✓ Cantidad de lubricante.
- Elaborar u obtener un registro de fallas de los equipos en estudio, a fin de realizar un análisis de confiabilidad, que contenga información como:
 - ✓ Tipo de falla.
 - ✓ Descripción de la falla.
 - ✓ Fecha de inicio o de ocurrencia de la falla.
 - ✓ Fecha de puesta en marcha del equipo nuevamente.

3.3.2 Fase II: Diagnostico de la situación problemática.

Esta fase comprende un análisis detallado del problema planteado donde se estudian las causas que afectan la lubricación de los equipos del área en estudio, así como las consecuencias que trae la mala lubricación de estos equipos en el proceso productivo. Esta fase se compone de los siguientes pasos:

- Establecer las consideraciones necesarias para el cálculo de la confiabilidad actual de los sistemas de lubricación.
- Calcular la confiabilidad actual de los sistemas de lubricación utilizados en los equipos a estudiar, mediante la obtención de los siguientes parámetros.
 - ✓ Numero de Fallas.
 - ✓ Rata de falla.

- ✓ Tiempo de operacion
- Seleccionar Los equipos a Rediseñar.

3.3.3. Fase III: Generación y evaluación de las alternativas de soluciones.

En esta fase se generan varias propuestas de solución dirigidas al problema planteado, con la visión de mejorar y automatizar el proceso. Esta fase se compone de los siguientes pasos.

- Evaluación de las necesidades del sistema.
 - ✓ Consumo de grasa de los diferentes puntos de lubricación a estudiar.
 - ✓ Selección del sistema de lubricación que cumpla con los requerimientos del equipo, mediante el cumplimiento de ciertos criterios y restricciones adoptados por la empresa.
- Desarrollo de la solución seleccionada.
 - ✓ Calculo de tuberías y selección de componentes.
 - ✓ Elaboración de planos.
 - ✓ Elaboración de Análisis de modo y efecto de Falla del sistema diseñado.
 - ✓ Confiabilidad del Sistema diseñado
 - ✓ Descripción de la filosofía de control del sistema diseñado

3.3.4. Fase IV: Evaluación económica.

En esta etapa se elabora un listado de todos los materiales y equipos necesarios para la implantación de cada una de las propuestas de solución. Luego se solicita a proveedores cotizaciones de los mismos, recolectando toda la información necesaria. Se determinan los flujos monetarios del proyecto y se evalúa la factibilidad económica del mismo, aplicando el modelo de rentabilidad conocido como valor actual, debido a que éste expresa la rentabilidad de un proyecto de inversión en forma de una cantidad de dinero en el presente ($t=0$), el cual es equivalente a los flujos monetarios netos del proyecto a una determinada tasa mínima de rendimiento, en otras palabras, el valor actual, representa el beneficio o pérdida equivalente en el punto cero de la escala de tiempo. Luego a las propuestas de solución que sean rentables, se les realizará un análisis para determinar un tiempo estimado de retorno de inversión. Esta fase de la metodología se compone de los siguientes pasos:

- Solicitar a proveedores precios detallados de todas las partes y componentes requeridos para el desarrollo de las soluciones.
- Evaluar costos asociados a mantenimientos y/o servicios antes y después que se implemente el rediseño.
- Factibilidad económica de las propuestas de solución.

CAPITULO IV.

DESARROLLO DEL TRABAJO.

En este capítulo se presenta lo relacionado al proceso de cálculo, comprobación y aplicación de los principios básicos presentados en el marco teórico y desarrollo de las fases metodológicas para obtener los resultados esperados.

4.1 Evaluación de los equipos y análisis de la situación actual de los sistemas de lubricación en el área de estudio.

El primer paso para desarrollar este trabajo corresponde a la descripción de los equipos del área de empaque y paletizado, conocer su función y operación dentro del proceso productivo, así como la realización de inventarios de las necesidades de lubricación y análisis de confiabilidad de cada uno de los equipos a estudiar, todo esto con la finalidad de evaluar las condiciones actuales y reconocer los equipos críticos.

4.1.1 Área de empaque y paletizado.

Como su nombre lo indica, esta área se encarga del paletizado y empaque del producto terminado, las botellas provenientes de las líneas de producción llegan a los paletizadores, los cuales se encargan de organizar las botellas en camadas para ser dispuestas en las paletas de manera semi automática, luego de armada la paleta, esta es movilizada a través del transportador colocado a la salida del paletizador, para luego ser transportada mediante un sistema automático de transporte de paletas denominado transfer car, hasta las líneas de flejado y empaquetado dando culminación al proceso productivo.

En la figura 4.1 se muestra un detalle del layout del área de empaque y paletizado donde se muestran los equipos que conforman una línea

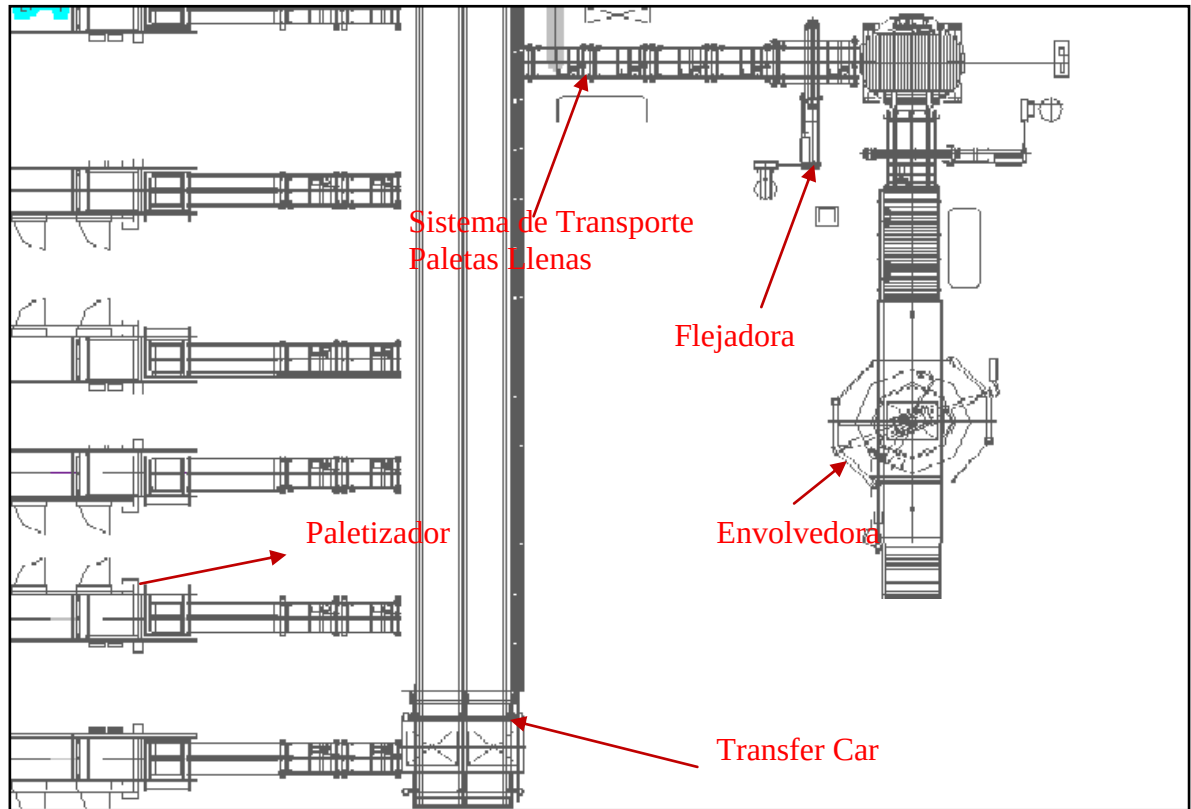


Fig. 4.1. Corte del Layout del área de empaque y paletizado.

Fuente. Owens Illinois de Venezuela. (2008)

4.1.1.1 Transfer Car.

El transfer car es un sistema automático de transporte de paletas, encargado de cargar y llevar paletas llenas de botellas desde las líneas de paletizado hasta las líneas de flejado y forrado. El transfer car cuenta con 4 sistemas básicos:

- Sistema motriz.
- Sistema de choque.
- Transportador.
- Sistema de sujeción de paletas.

✓ Sistema de choque.

Este sistema posee una defensa frontal y posterior que está sostenida por tres ejes apoyados sobre cojinetes axiales, los cuales al momento de un posible impacto activan sensores que automáticamente detienen el equipo en movimiento. Estos ejes poseen resortes que permiten que el impacto desplace al eje pero que a la vez retorne a su posición, además las defensas poseen un conjunto de sensores de proximidad los cuales le permiten al transfer car detectar si hay un objeto u obstáculo obstruyendo la vía, de ser así el vehículo es detenido por completo. En la figura 4.2 y 4.3 se muestran la defensa frontal del transfer car y los cojinetes axiales respectivamente.



Fig. 4.2. Sistema de choque del transfer car.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008

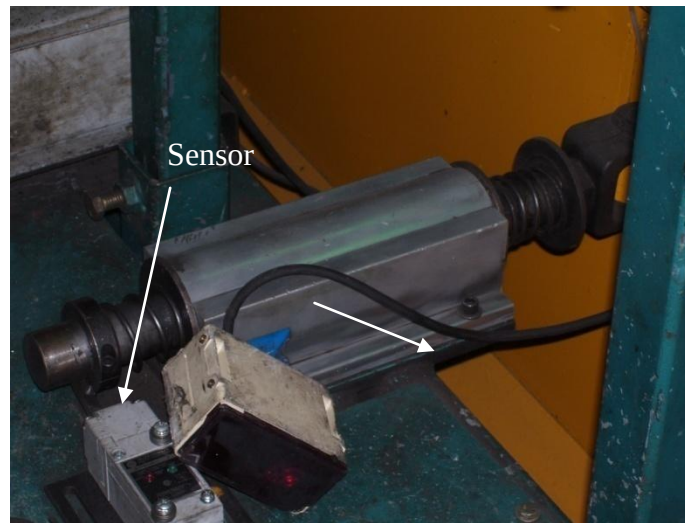


Fig. 4.3. Sistema de choque del transfer car.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

✓ Transportador.

Es un sistema de cadenas que transporta la paleta a través del transfer car, funciona con un motor eléctrico que mueve un eje con piñones acoplados para darle movimiento a las cadenas. El transportador trabaja con sensores que detectan la posición de la paleta y accionan el motor eléctrico. Este transportador tiene capacidad para cargar 2 paletas a la vez. La figura 4.4 muestra el transportador de paletas del Transfer Car, donde además se aprecian las cadenas transportadoras, cadena motriz, los rodamientos del eje motriz y el motor eléctrico.

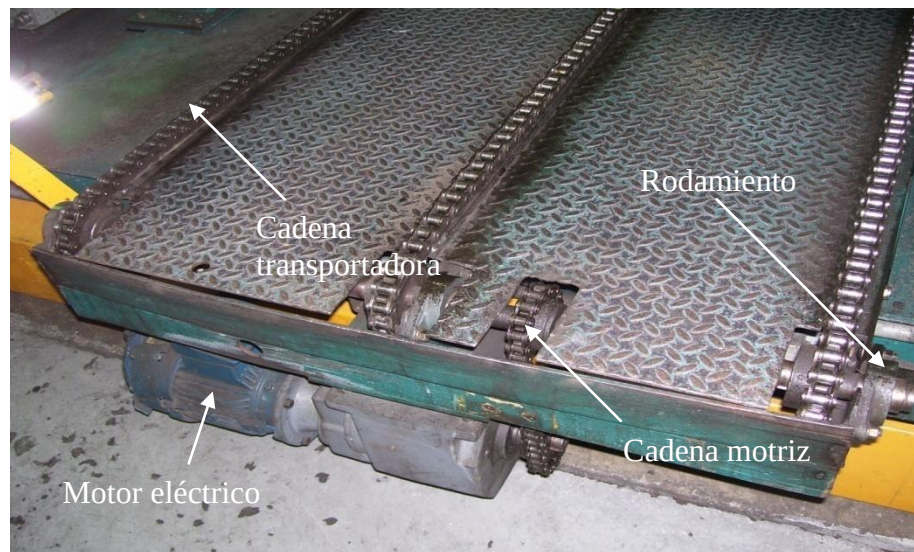


Fig. 4.4. Transportador.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008

✓ Sistema Motriz.

El sistema motriz es el encargado del movimiento o desplazamiento del transfer car, está conformado por un eje principal de transmisión dividido en tres partes conectado por acoples, el cual es accionado por un motor eléctrico y una correa dentada. Este eje tiene acoplado dos ruedas que le dan movimiento al carro y además el transfer car posee en la parte posterior dos ruedas locas (conducidas), todo esto controlado automáticamente desde un panel de control ubicado en la plataforma del carro. En la figura 4.5 se aprecian los acoples del eje, la correa dentada y el motor eléctrico.

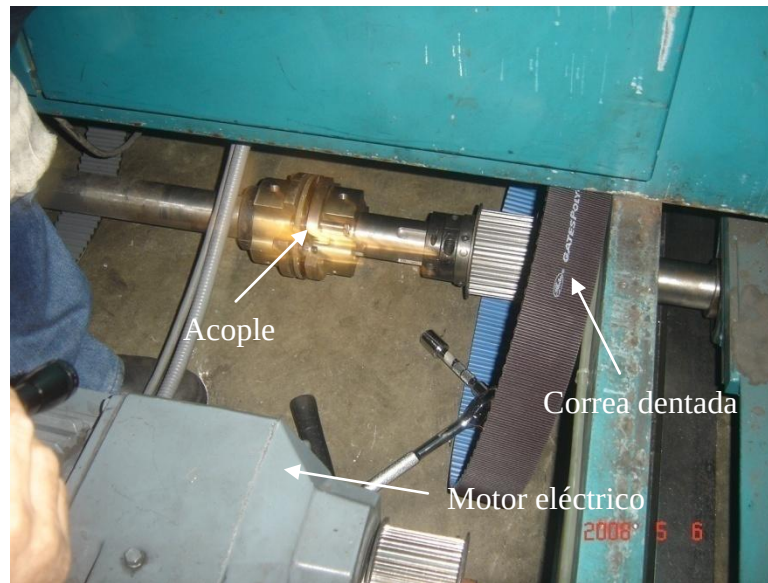


Fig. 4.5. Sistema Motriz.
Fuente. Mercado A. Iván, 2008

✓ Sistema de sujeción de paleta.

Este sistema de sujeción es el encargado de mantener la paleta estable y evitar que sufra movimientos bruscos al momento de trasladarla. Este sistema está conformado por dos motores eléctricos que mueve dos pisadores que suben y bajan a través de dos cremalleras. En la figura 4.6 se muestra el sistema de sujeción conformado por el pisador y la cremallera de ascenso y descenso, además en la figura 4.7 se muestra un detalle de dicha cremallera.

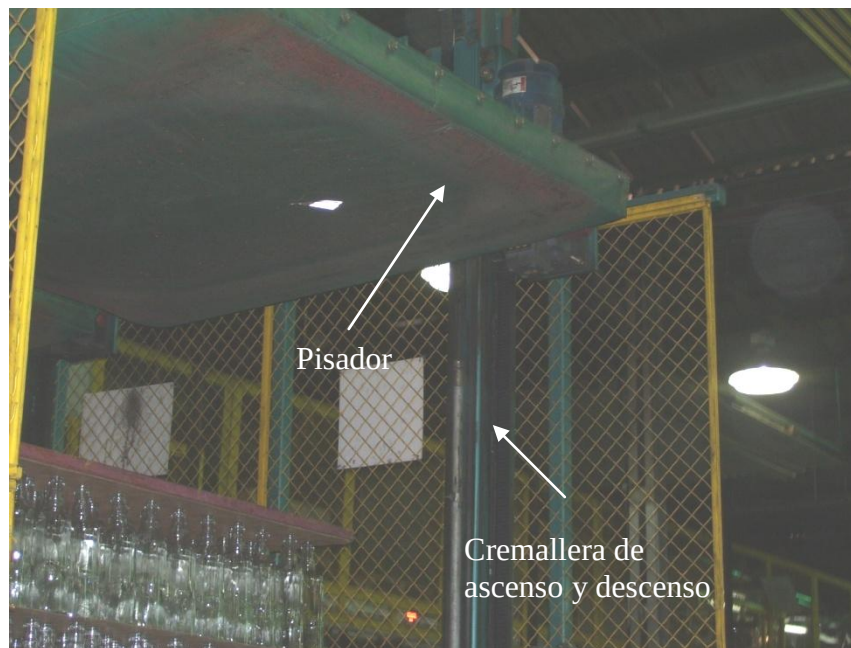


Fig. 4.6. Sistema de sujeción.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008

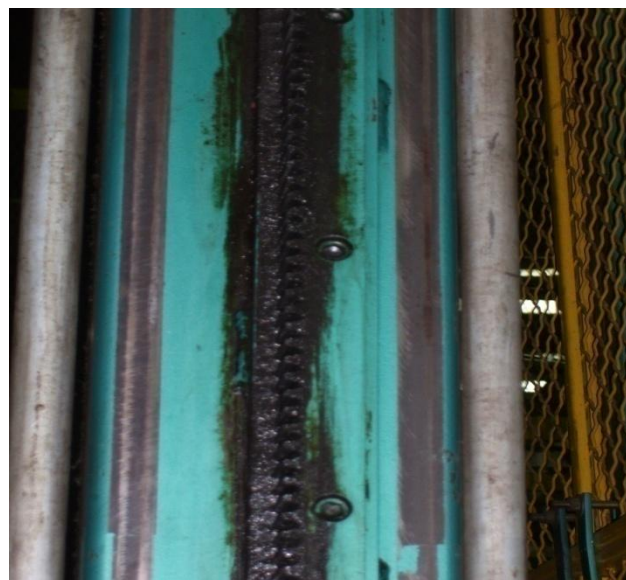


Fig. 4.7. Detalle de Cremallera de ascenso y descenso del pisador.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008

4.1.1.2 Paletizador.

Este equipo como su nombre lo indica, es un aparato electromecánico cuya función es organizar los envases encima de la paleta en forma de camadas. El envase proveniente de las líneas de producción entra al paletizador por medio de una malla que se encarga del transporte del envase en el equipo para luego ser acumulado y colocado sobre la paleta, en donde una vez completado el número de camadas se envía al transportador de cadenas mediante un ascensor electromecánico. Este equipo cuenta con varios sistemas básicos para realizar las funciones ya mencionadas.

✓ Sistema de acumulación de envases.

Este sistema está conformado por dos mallas (larga y corta) que transportan el envase, un pisador neumático que detiene los envases antes de llegar al sistema acumulador el cual cuenta con una plancha que tiene la forma del envase. En la figura 4.8 y 4.9 se muestran la malla transportadora de envases y plancha de acumulación de envases respectivamente.



Fig. 4.8. Malla transportadora de envases.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

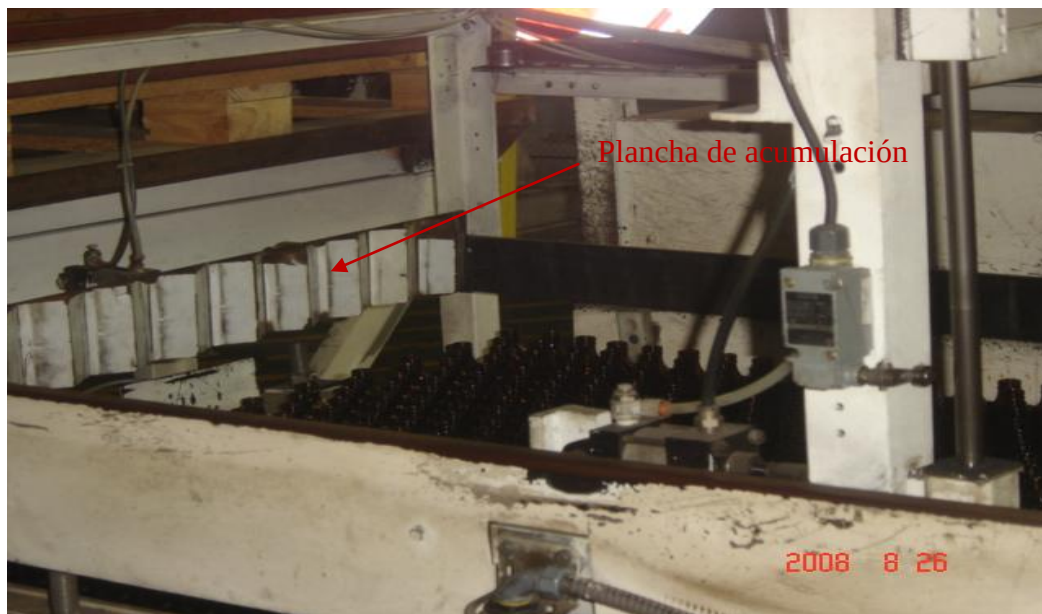


Fig.4.9. Sistema de Acumulación de envases.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

✓ Sistema de barrido de camadas.

Los envases una vez acumulados son ajustados mediante unos cilindros neumáticos que con unas planchas adaptadas en sus vástagos, compactan la camada, para luego ser barrida mediante unas palas o ganchos que arrastran los envases y un sistema de cadenas que desplaza la camada hacia la paleta. En las figuras 4.10 y 4.11 se muestran los ajustadores y palas de arrastre respectivamente.

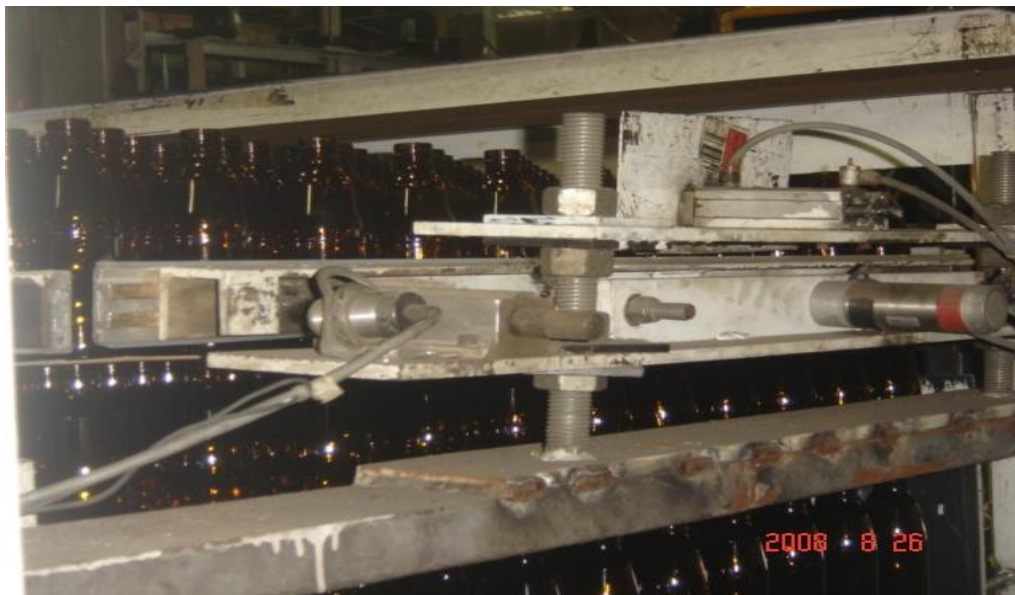


Fig.4.10. Ajustadores de camadas.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

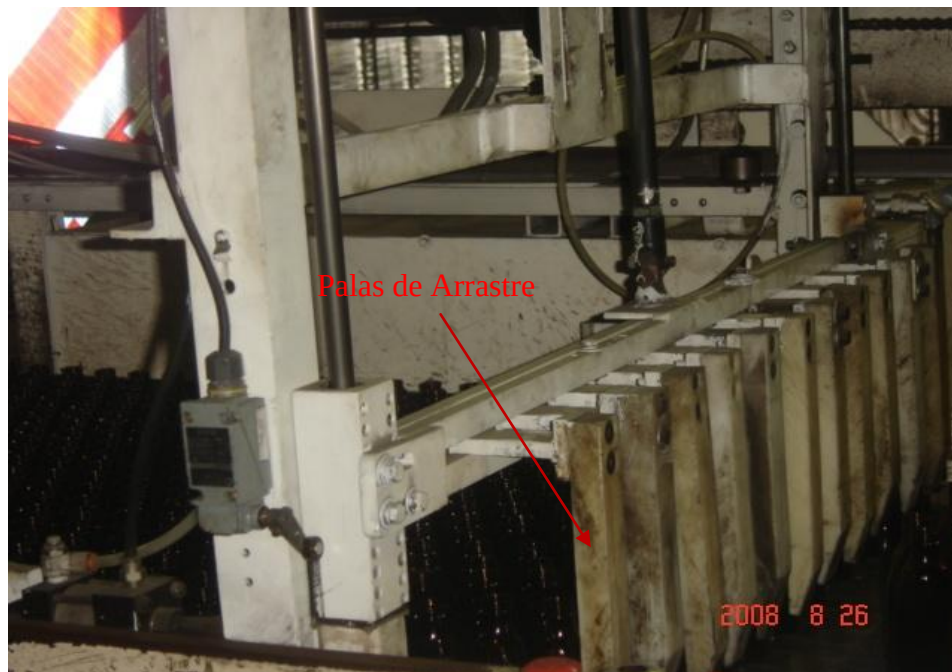


Fig.4.11. Palas de arrastre de camada.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

✓ Ascensor.

El ascensor se encarga de bajar la paleta una vez completado el número de camadas hasta el transportador. El sistema de transmisión es mediante un motor eléctrico y cadenas que se encargan de desplazar el ascensor. En la figura 4.12 y 4.13. Se muestran el sistema de transmisión y el ascensor respectivamente.

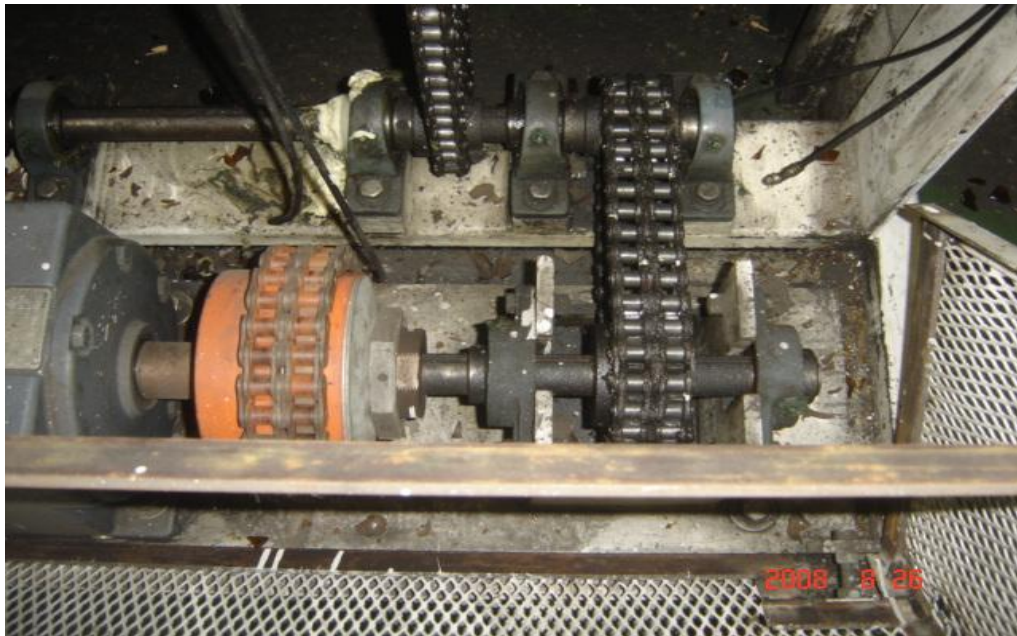


Fig. 4.12. Sistema de transmisión del ascensor.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.



Fig.4.13. Ascensor de paletas.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

✓ **Transportador.**

Este sistema funciona con cadenas que transportan las paletas provenientes del ascensor hasta la espera del transfer car. En la figura 4.14 se muestran los transportadores.



Fig. 4.14. Transportador salida del ascensor.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

4.1.1.3 Sistema de Transporte de paletas llenas.

Este sistema está conformado por un conjunto de transportadores de cadenas los cuales llevan las paletas llenas hasta la flejadora y posteriormente hasta la envolvedora. En la figura 4.15 se muestran los transportadores.



Fig. 4.15. Sistema de transporte de paletas llenas.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

4.1.1.4 Flejadora y Envolvedora.

Una vez completado el proceso de transporte la paleta llena, llega a la máquina flejadora la cual se encarga de colocar los flejes de empaque a la paleta, para luego pasar a la máquina envolvedora en la cual se coloca el envoltorio final a la paleta para luego ser almacenada. En la figura 4.16 y 4.17 se muestran las máquinas flejadora y envolvedora respectivamente.



Fig.4.16. Máquina Flejadora.
Fuente. Mercado A. Iván, 2008.



Fig. 4.17. Máquina Envolvedora.
Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

4.2 Estudio de Lubricación.

Para este estudio se realizó un inventario de las necesidades de lubricación de cada uno de los equipos en el área, con la finalidad de conocer características esenciales como: partes a lubricar de la máquina, número de puntos a lubricar, tipo de lubricante, método de lubricación entre otros. A continuación se muestran dos de los inventarios realizados a los equipos. (Ver apéndice A para el resto de los inventarios)

Equipo: Transfer Car.

Fabricante: Kaufman Engineered Systems

Componentes	Partes a lubricar	Método	Cantidad	Capacidad (g)	Tipo de lubricante	Frecuencia
Sistema motriz	Rodamientos de bola 2 1/2" eje principal	Grasera	6	42,52428	Grasa multipropósito NLGI 2	Semanal/Relleno
	Rodamientos de bola 2 1/2" Ruedas conducidas	Grasera	2	42,52428	Grasa multipropósito NLGI 2	Semanal/Relleno
Sistema guía	Rodamientos Torrington (rodamientos guías 1 7/8")	Grasera	4	6,048375	Grasa multipropósito NLGI 2	Semanal/Relleno
Stops de emergencia	Rodamientos axiales	Aceitera	6		Aceite SAE 40	trimestral/Relleno
Transportador	Cadenas	Aerosol	8		Aceite SAE 40	Semanal/Relleno
	Rodamientos de aguja 1 1/4" eje motriz	Grasera	6	2,8349	Grasa multipropósito NLGI 2	Semanal/Relleno

	Rodamientos de aguja 1 1/4" Piñones conducidos	Grasera	6	2,8349	Grasa multipropósito NLGI 2	Semanal/Relleno
Soporte de paletas	Cremallera de ascenso y descenso	Aerosol	2		Aceite SAE 40	Semanal/Relleno

Tabla 4.1. Inventario de lubricación: Transfer Car.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

Equipo: Paletizador a granel No 1.

Fabricante: Busse Bross

Componentes	Partes a lubricar	Método	Cantidad	Capacidad (g)	Tipo de lubricante	Frecuencia
Sistema acumulación de envases	Rodamientos de bola 1 1/2" malla larga y malla corta	Grasera	8	9,0718	Grasa multipropósito NLGI 2	semanal/relleno
Sistema para el barrido de camadas	Bocina de la cadena de transmisión del carro 1"	Grasera	1	2,834	Grasa multipropósito NLGI 2	mensual/relleno
	Cadenas de transmisión del carro y paletas empujadoras	Aerosol	1		Aceite SAE 40	Trimestral/relleno
	Rodamientos Torrington del carro 2"	Lubricación de por vida	8			

Transportador	Cadenas de transmisión y transporte	Aerosol	20		Aceite SAE 40	Trimestral/relleno
	Rodamientos de rodillo transportador de entrada paletas vacías 1 3/8"	Grasera	4	6,236	Grasa multipropósito NLGI 2	Trimestral/relleno
	Rodamientos de rodillo transportador salida del ascensor 1 1/2"	Grasera	6	9,0718	Grasa multipropósito NLGI 2	Trimestral/relleno
	Rodamientos de rodillo transportador de paletas llenas 1 1/2"	Grasera	4	9,0718	Grasa multipropósito NLGI 2	Trimestral/relleno
	Rodamientos de rodillo 1 1/2" ascensor	Grasera	6	9,0718	Grasa multipropósito NLGI 2	Trimestral/relleno
	Bocinas 1 1/2"	Grasera	6	9,0718	Grasa multipropósito NLGI 2	Trimestral/relleno
Sistema de transmisión del Ascensor	Ruedas principales del ascensor (rodamientos de rodillo 1")	Grasera	4	2,8349	Grasa multipropósito NLGI 2	semanal/relleno
	Ruedas laterales del ascensor	Grasera	4	2,8349	Grasa multipropósito NLGI 2	semanal/relleno

	(bocinas 3/4)					
	Cadenas de transmisión	Aerosol			Grasa multipropósito NLGI 2	semanal/relleno
	Rodamientos de rodillo ejes de transmisión 1 1/2"	Grasera	11	9,0718	Grasa multipropósito NLGI 2	semanal/relleno

Tabla 4.2. Inventario de lubricación: Paletizador a granel.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

En relación a los resultados obtenidos en el inventario de lubricación se tiene que:

- Los lubricantes que se deben utilizar son Grasa multipropósito NLGI 2 para rodamientos y aceite de motor SAE 40 para las cadenas.
- La cantidad de grasa total requerida por los rodamientos del Transfer Car es de 398,31 g y la de los rodamientos del Paletizador es de 163,26 g de grasa.

De información suministrada por el Departamento de Compras, la Empresa Owens Illinois, realizó un consumo de 8 cuñetes (20 Kg c/cuñete), en el año 2007 de Grasa Tribol N.M.G (Ver apéndice A), la cual es utilizada exclusivamente en el área de Empaque y Paletizado por las condiciones del ambiente de Trabajo.

Si comparamos la cantidad de grasa requerida por los equipos (12 paletizadores y Transfer Car) y la cantidad de grasa consumida por la planta en el 2007 tenemos que:

Llevando el consumo de grasa actual de la planta, a un consumo semanal se tiene que el ahorro de lubricante mediante el estudio de lubricación es de:

$$\text{ahorro} = \frac{3 \text{ kg} - 2,35 \text{ Kg}}{3 \text{ Kg}} \times 100 = 21,66 \%$$

A continuación en la figura 4.18 se muestra un grafico comparativo del consumo de grasa

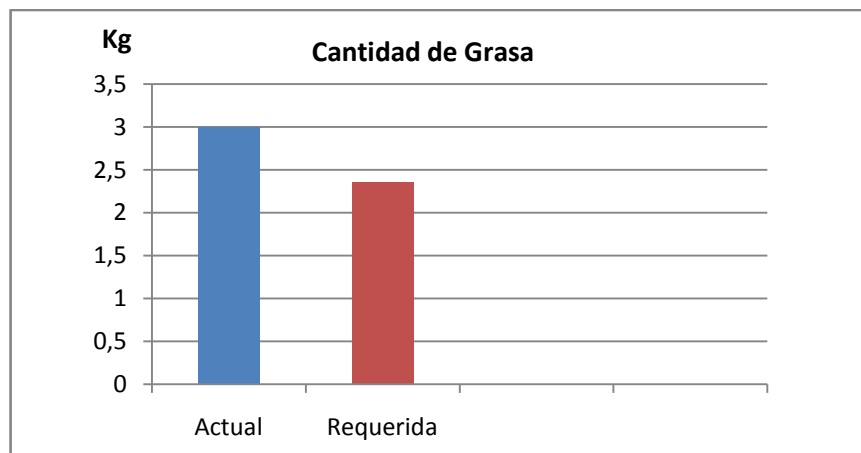


Fig. 4.18. Grafico comparativo del consumo de grasa.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

4.3 Análisis de confiabilidad.

4.3.1 Evaluación de la confiabilidad.

Para el estudio de confiabilidad se analizó cada equipo por separado y se obtuvo la información de los registros de fallas de cada máquina desde mayo de 2007 hasta mayo de 2008, basado en los reportes del departamento de mantenimiento Zona fría, con la finalidad de obtener el número estimado de fallas ocurrido durante este periodo de tiempo en el área de empaque y paletizado.

El cálculo de confiabilidad se realizó asumiendo la rata de falla constante, esto debido al criterio que dice que las máquinas por ser componentes conformados por sub componentes, cada uno con ratas de falla diferentes, la rata de riesgo del componente es aproximadamente una constante. (Vallés, 2001, p 34)

Para el cálculo de la tasa de falla constante se involucran dos aspectos fundamentales, la cantidad de fallas que hay en la zona y la cantidad de horas de operación que tienen los equipos en cada zona.

Considerando que la planta en estudio trabaja 24 horas al día de manera continua durante todo el año, se tomo el tiempo de operación para el cálculo de la rata de falla 8760 Hrs.

En la tabla 4.3 se muestra los registros de fallas del periodo considerado

- Transfer Car.

Cálculo tipo de la rata de falla del transfer Car. Utilizando la ecuación 2.17 tenemos que:

$$\alpha = \frac{15}{8760 \text{ Hrs}} = 1,7123 \times 10^{-3} \frac{\text{fallas}}{\text{hrs}}$$

n	Fecha	Sección	Descripción de la falla
1	01/05/2008	Pista y guía del piso	Rodamientos dañados
2	30/04/2008	Sistema motriz	Chumacera del eje principal dañada
3	20/04/2008	Sistema motriz	Rodamiento de la rueda loca dañado
4	11/04/2008	Sistema motriz	Chumacera del eje principal dañada
5	14/03/2008	Transportador	Guías de la cadena desgastadas
6	10/03/2008	Pista y guía del piso	Rodamiento trancado
7	05/02/2008	Transportador	cadena reventada
8	07/01/2007	Pista y guía del piso	Rodamientos desgastados
9	31/12/2007	Sistema motriz	Eje principal desgastado
10	06/11/2007	Pista y guía del piso	Rodamientos desgastados
11	08/10/2007	Pista y guía del piso	Rodamientos desgastados

12	11/09/2007	Transportador	Rodamientos de piñones locos desgastados
13	03/08/2007	Pista y guía del piso	Rodamientos dañados
14	04/07/2007	Sistema motriz	Chumacera del eje principal trancada
15	01/06/2007	Pisador de paletas	Cremallera desgastada

Tabla.4.3. Registro de fallas Transfer Car. Mayo 2007 - Mayo 2008

Fuente. Owens Illinois Planta Los Guayos.

Por lo tanto la confiabilidad para el primer mes utilizando la ecuación 2.18 es:

$$r(t) = e^{-1,7123 \times 10^{-3}(720)} = 0,2914$$

En la tabla 4.4 y la figura 4.19 se muestran los resultados de confiabilidad para el transfer car.

R(t)	Mes
29,14	1
8,49	2
2,47	3
0,72	4
0,21	5
0,06	6
0,017	7
0,0052	8
0,0015	9
0,00044	10
0,00012	11
0,000037	12

Tabla 4.4. Confiabilidad del transfer car.

Fuente: Mercado A. Iván, 2008

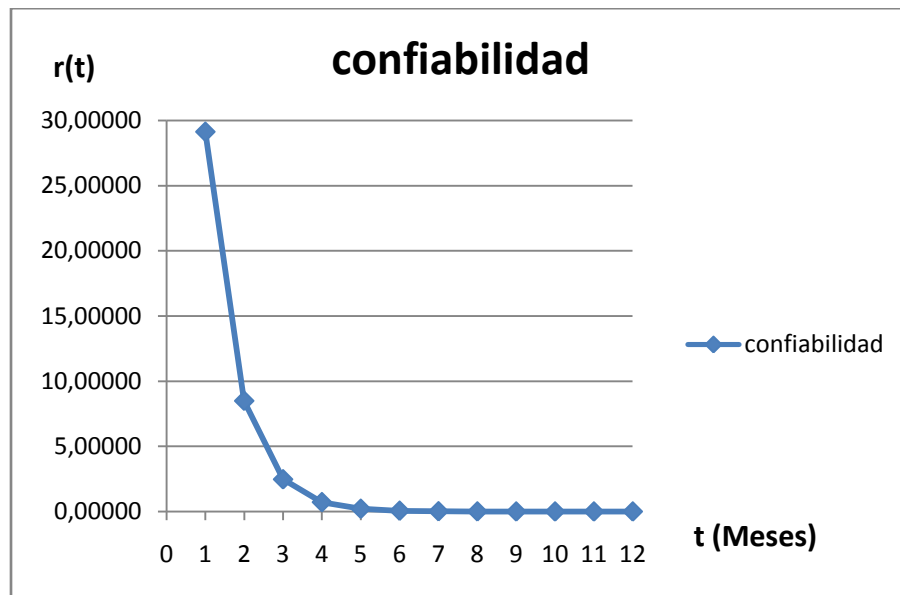


Figura 4.19. Curva de Confiabilidad del transfer Car.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008

De los resultados anteriores se puede evidenciar que los valores de confiabilidad a lo largo del periodo disminuyen aceleradamente, y su tendencia a ser cero se puede observar en la Figura 4.19.

En la grafica 4.20 y la tabla 4.5 se muestran los valores de confiabilidad de los equipos en el área de empaque y paletizado para el periodo de estudio. Los Cálculos del resto de los equipos se muestran en el apéndice G

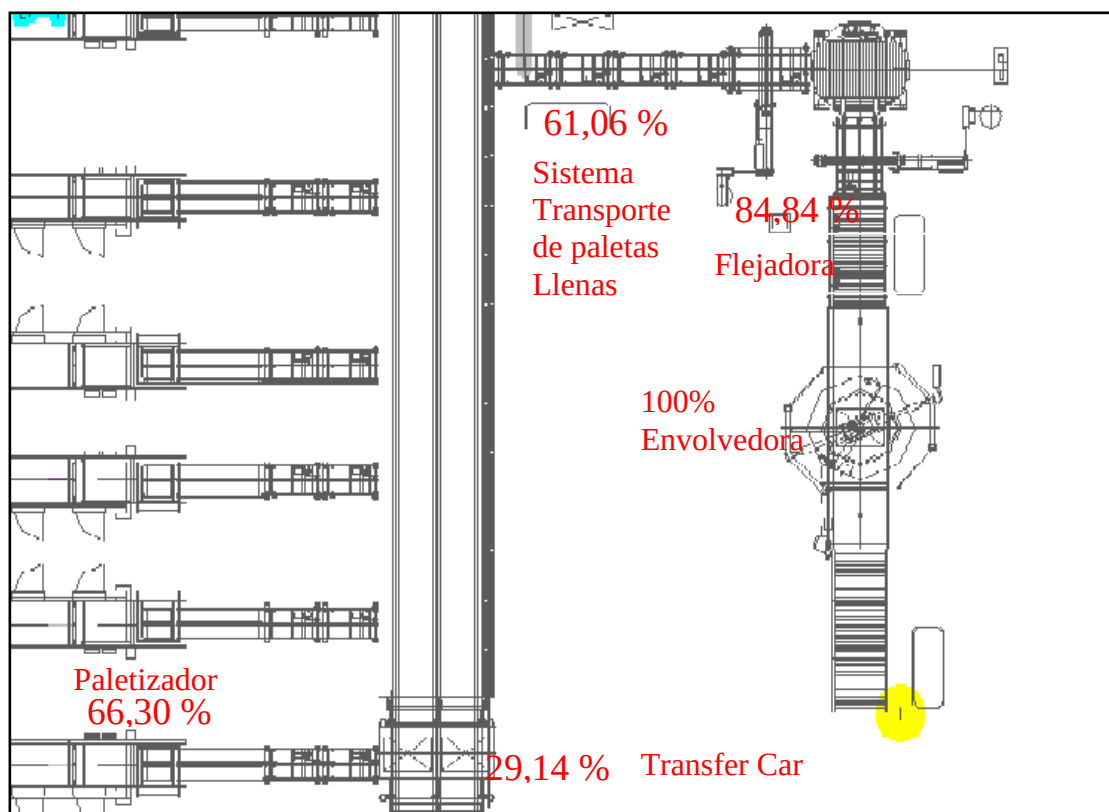


Fig. 4.20. Valores de Confiabilidad obtenidos.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008

Zona Fría	Confiabilidad
Transfer Car	29,14%
Paletizador	66,30%
Máquina Flejadora	84,84%
Sistema de transporte de paletas llenas	61,06%
Envolvedora	100 %

Tabla 4.5. Valores de confiabilidad obtenidos. Mayo 2007- Mayo 2008

Fuente: Mercado A. Iván, 2008.

Es importante hacer notar que los valores de confiabilidad que se reflejan en la Tabla anterior permiten observar una situación que puede ser mejorada enormemente, como se menciono anteriormente, en las que con el breve periodo de observación reflejado, los bajos valores de confiabilidad implican que en cualquier momento los equipos estaban propensos a presentar una falla o ya para ese momento la habían presentado.

4.3.2 Rediseño de los Sistemas de Lubricación

El análisis de confiabilidad nos revela resultados muy bajos, lo cual representa enormes posibilidades de mejora, en los diferentes sistemas de lubricación que se emplean en los equipos. Sin embargo no es posible ni viable realizar la lubricación de todos los elementos de los equipos mencionados de manera automatizada, ya sea por falta de espacio, por los intervalos tan extensos de lubricación que vienen dados por la frecuencia obtenida en el inventario ó simplemente por condiciones especiales de los equipos. Por lo tanto se realizara el diseño para lubricar las partes claves de los equipos en estudio.

Es prioridad para la empresa Owens Illinois de Venezuela, automatizar el proceso de lubricación de uno de sus equipos más importantes como lo es el **Transfer Car** (Sistema automático de transporte de paletas), de manera tal que sea tomado como un plan piloto de rediseño y pueda emplearse en cualquier otro equipo de la planta con necesidades de lubricación similares, Igualmente se propondrá un diseño similar para el paletizador, y en cuanto al sistema de transporte de paletas llenas se diseñara un plan de mantenimiento preventivo debido a las dificultades de colocar un sistema automático, que involucran falta de espacio e intervalos extensos de lubricación.

En el Transfer Car se lubricaran los rodamientos con un sistema centralizado de grasa, en cuanto a las cadenas se imposibilita colocar un lubricador o aspersor de aceite ya que el espacio disponible para instalarlo no lo permite, además de la condición que presenta el equipo el cual está en un constante desplazamiento y no cuenta con línea de alimentación de aire comprimido.

En el paletizador se lubricaran con un sistema de grasa los rodamientos de las mallas y los del sistema de transmisión del ascensor, ya que el resto de puntos de lubricación debido a los largos intervalos de relubricación (Trimestral) obtenidos en el inventario no necesitan lubricación controlada y continuaran realizándose de manera manual.

4.4 Generación de soluciones.

4.4.1. Sistema de lubricación. Transfer Car.

- **Alternativa de solución No 1.**

Se tiene un sistema de lubricación centralizada con grasa ubicado sobre los limites geométricos de la máquina, basado en un sistema independiente con 24 puntos de lubricación y una bomba eléctrica que impulsa el lubricante hacia un distribuidor principal el cual se encarga de enviarlo hacia tres líneas de lubricación cada una con su distribuidor diseñado para lubricar el número correcto de puntos de lubricación con la cantidad exacta de grasa.

En la figura 4.21 se muestra un diagrama del Sistema de Lubricación propuesto en la Alternativa de solución Nro 1

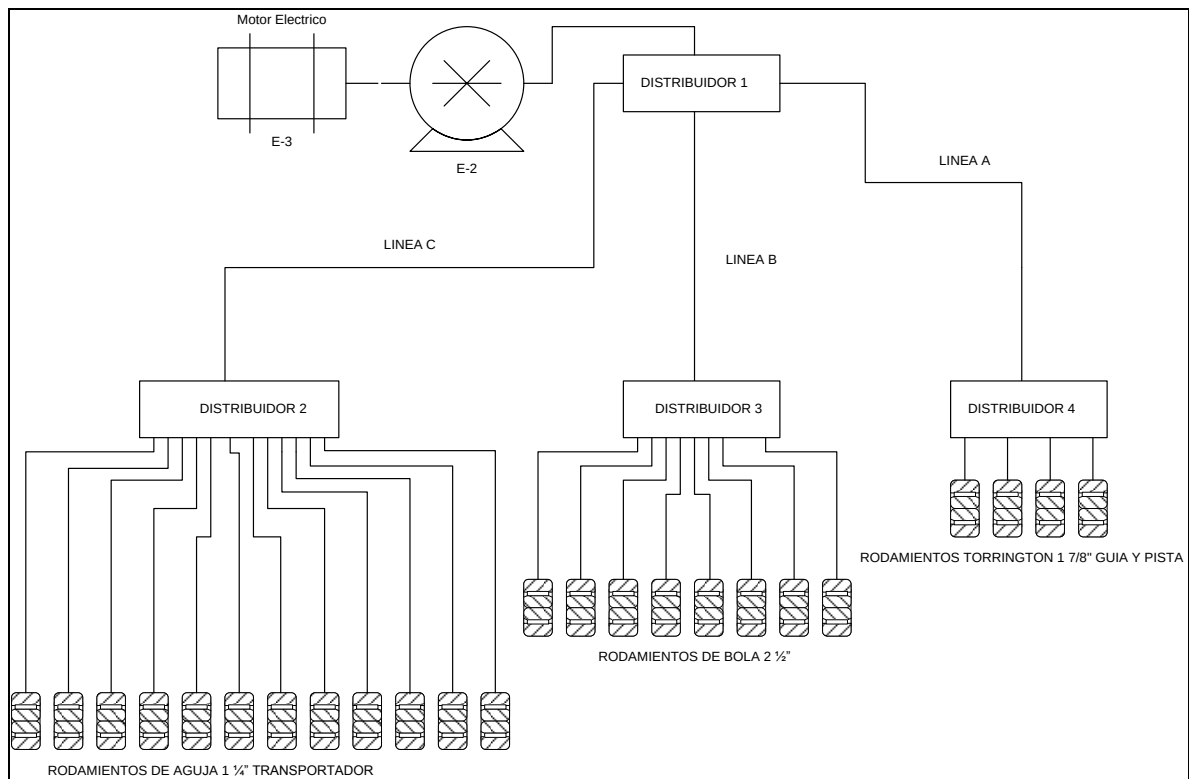


Figura 4.21. Sistema de lubricación Transfer Car. Alternativa No 1.

Fuente: Mercado A. Iván, 2008

En la figura 4.21 se aprecia la bomba que suministra la grasa, así como también las líneas principales de lubricación (A, B, C), por los cuales se traslada el lubricante hacia los puntos de lubricación.

Ventajas.

- ✓ Con el arreglo planteado se lubrican los 24 puntos con una bomba eléctrica y un punto de lubricación centralizada.
- ✓ Disminuye el tiempo de lubricación de la máquina.

- ✓ La lubricación se realiza con el equipo en funcionamiento ya que el sistema se encuentra instalado sobre ella.
- ✓ Fácil mantenimiento y largos periodos de inspección.
- ✓ Poca cantidad de lubricante y más periodos de relubricación para la máquina.
- ✓ Reducción del consumo de lubricante

Desventajas.

- ✓ Existen riesgos de fuga de lubricante en la tubería.
- ✓ Poca disponibilidad de espacio para la instalación de la red de tuberías.

• Alternativa de solución No 2.

La segunda alternativa, es un sistema de lubricación centralizada con grasa colocado también sobre los límites geométricos de la máquina, dicho sistema cuenta con una bomba neumática y un pequeño compresor que alimente la bomba, ya que la máquina no cuenta con una línea de alimentación de aire comprimido y se encuentra en constante movimiento. Este sistema de lubricación cuenta además con distribuidores de grasa que se encargan de enviar el lubricante hasta los 24 puntos de lubricación.

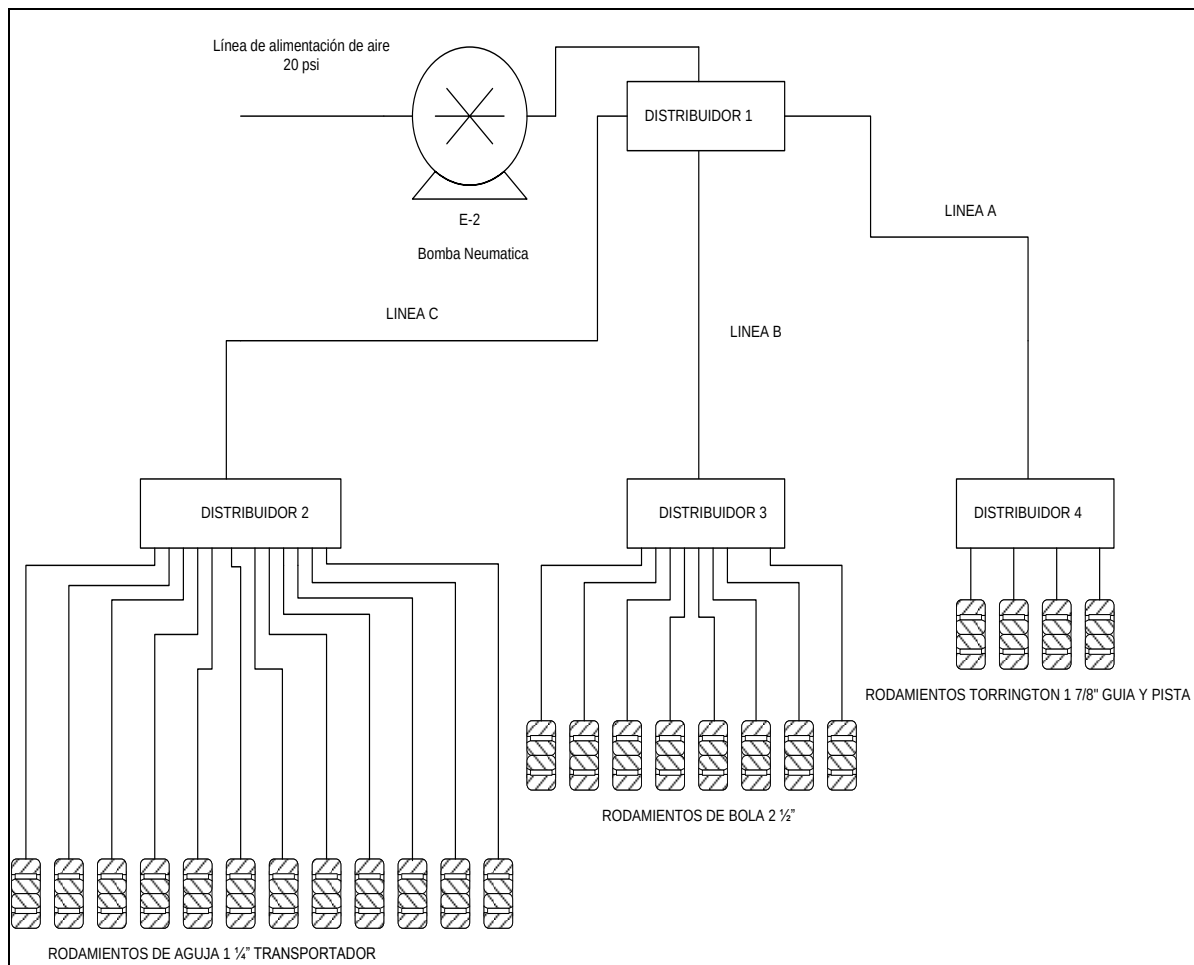


Figura 4.22. Sistema de Lubricación Transfer Car. Alternativa No 2.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

Ventajas.

- ✓ Con el arreglo planteado se lubrican los 24 puntos de manera centralizada.
- ✓ La lubricación se realiza sin necesidad de detener el equipo.
- ✓ Se reducen los tiempos de lubricación.
- ✓ Se suministra la cantidad exacta de lubricante al número de puntos necesario.

Desventajas.

- ✓ Existe la posibilidad de que la máquina esté limitada de espacio para colocar el diseño.
- ✓ El compresor genera un costo de mantenimiento adicional para el departamento zona fría.
- ✓ Existen riesgos de fuga en las tuberías.

4.4.2 Sistema de lubricación. Paletizador.

Se tiene un sistema centralizado de grasa, para lubricar los rodamientos del sistema de transmisión del ascensor y rodamientos de los rodillos de la malla larga y malla corta del carro transportador de camadas, dicho sistema cuenta con una bomba eléctrica que se encarga de enviar grasa a un distribuidor modular que a su vez lo distribuye hacia los puntos de lubricación antes mencionados. En la figura 4.23 se muestra un diagrama del sistema planteado para la lubricación del paletizador.

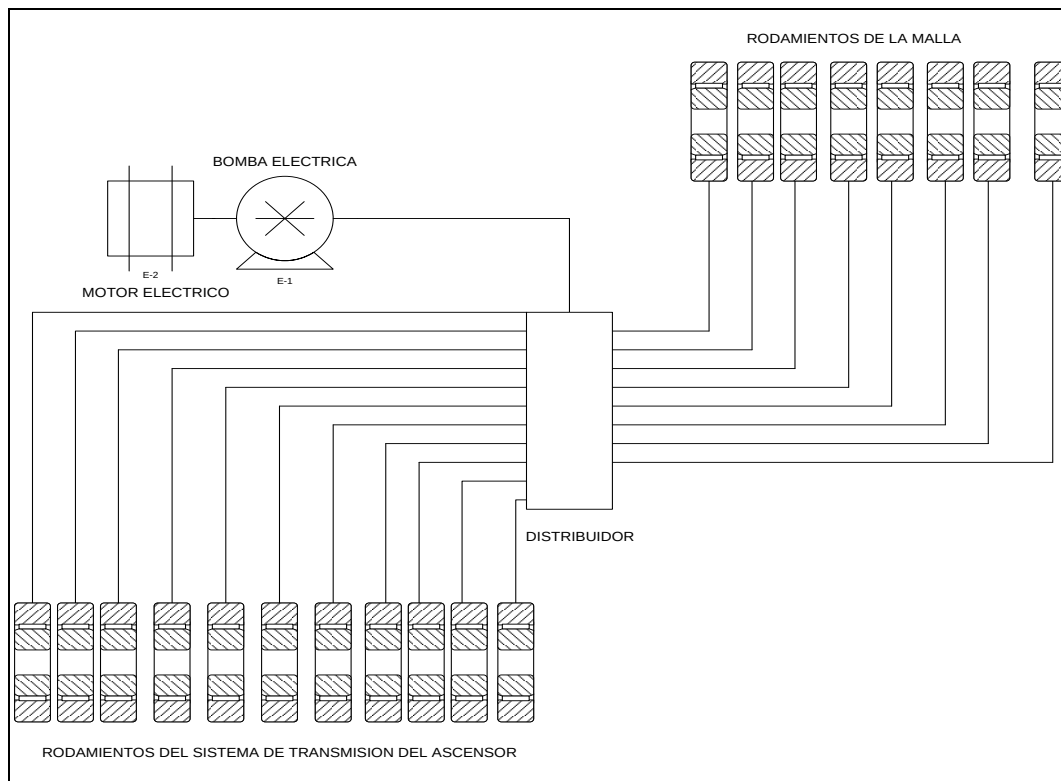


Figura 4.23. Sistema de Lubricación. Paletizador.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

Ventajas.

- ✓ Fácil monitoreo.
- ✓ Se lubrica de manera automática.
- ✓ Se suministra la cantidad exacta de lubricante a cada uno de los puntos.
- ✓ Fácil mantenimiento y largos periodos de inspección.

Desventajas.

- ✓ Riesgo de fuga de lubricante en la tubería.

4.4.3 Plan de Mantenimiento Preventivo para el Sistema de Transporte de Paletas Llenas.

Debido a las condiciones geométricas de este sistema, los largos periodos de relubricación y condiciones de trabajo (bajas velocidades, tiempo de operación intermitente) se dificulta y no se requiere colocar un equipo de lubricación automático, es por eso que se diseño un plan de mantenimiento preventivo y de inspección, para todos los elementos de máquina que deban ser lubricados dependiendo de la frecuencia que establezca el fabricante y de esta manera mejorar la lubricación que se realiza actualmente y disminuir las fallas por desgaste en rodamientos. Para ver la información reflejada en el plan de Mantenimiento ver apéndice B.

4.5 Selección de la mejor solución para el sistema de lubricación.

La selección de la mejor solución se realizara de acuerdo a los criterios y restricciones que más se ajusten a la situación. En cuanto a los criterios seleccionados en el capítulo II se muestra el significado de cada uno de ellos y la ponderación numérica se hará subjetivamente de acuerdo al nivel de importancia en forma ascendente; esto se hace como procedimiento metodológico, para luego efectuar el proceso de selección entre los criterios más relevantes relacionados con el trabajo.

En la tabla 4.6 se muestra la ponderación de los criterios seleccionados.

Criterios	Ponderación
Mantenibilidad	1
Eficiencia	2
Efectividad	3
Disponibilidad	4
Confiabilidad	5
Seguridad	6

Tabla 4.6. Ponderación de criterios Seleccionados.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

A continuación en la tabla 4.7. se muestran las restricciones asociadas al diseño.

Restricciones	Acotación
Tiempo máx. de lubricación por ciclo	5 minutos
Numero de ciclos máximo por día	2 ciclos/ día
Diámetro de tubería	3/8"

Tabla 4.7. Restricciones para el diseño.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

4.5.1 Evaluación de las alternativas.

Sistema de lubricación para el Transfer Car.

En la tabla 4.8 se presentan las alternativas según restricciones para el diseño.

Alternativa	Restricción 1	Restricción 2	Restricción 3
Solución 1	O	O	O
Solución 2	O	O	O

Tabla 4.8. Evaluación de las alternativas según restricciones de diseño.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

Como las 2 soluciones cumplen con las tres restricciones para el diseño, se procede a evaluar las soluciones por criterios, empleando como intervalo de valores del (1 – 6) de menor a mayor, es decir se pondera de acuerdo a la calidad que tenga la solución respecto al criterio de estudio. En la tabla 4.9 se muestra la evaluación final de las soluciones del sistema de lubricación.

Criterios seleccionados	Solución 1	Solución 2
Mantenibilidad	6	4
Eficiencia	5	5
Efectividad	5	5
Disponibilidad	5	4
Confiabilidad	6	5
Seguridad	6	5

Tabla 4.9. Evaluación final de las soluciones para el sistema de lubricación.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

Para la obtención de la solución final se procede a aplicar el procedimiento de la siguiente forma:

Se multiplican los valores obtenidos en la tabla 4.9 por los de la tabla 4.6

Se calcula la sumatoria de los puntos obtenidos por cada solución para concretar la alternativa definitiva.

En el Apendice C se muestran los cálculos tipos referentes a la tabla 4.10.

Solución 1	117
Solución 2	100

Tabla 4.10. Ponderación final de las alternativas de solución.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

De los resultados obtenidos en la tabla 4.10 podemos ver que la alternativa de solución que recogió mayor ponderación fue la alternativa No. 1. En la figura 4.24 se muestra un dibujo isométrico del diseño ensamblado en la máquina que corresponde al propuesto en la alternativa seleccionada, aquí se puede apreciar con más detalle la bomba y el sistema de tuberías ubicados en los espacios geométricos del Transfer Car.

A continuación en la figura 4.25 se muestra un dibujo isométrico del sistema de tuberías, los diferentes puntos de lubricación y los distribuidores modulares de grasa. En el anexo se muestran los planos del sistema diseñado y el detalle de los equipos seleccionados

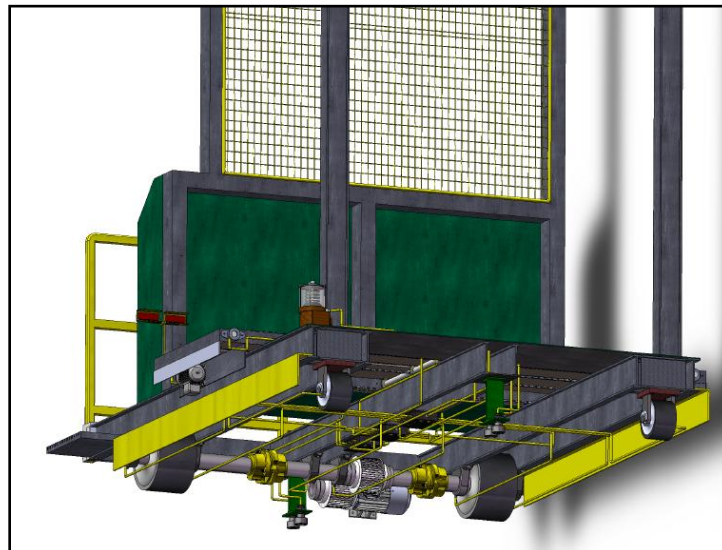


Fig.4.24. Diseño seleccionado del Sistema de Lubricación. Transfer Car.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

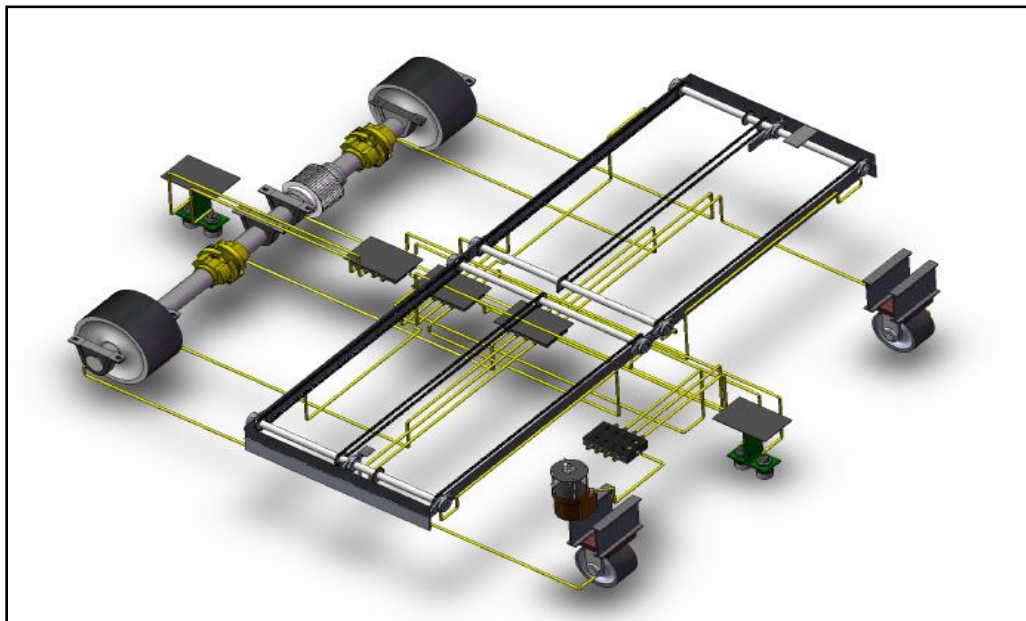
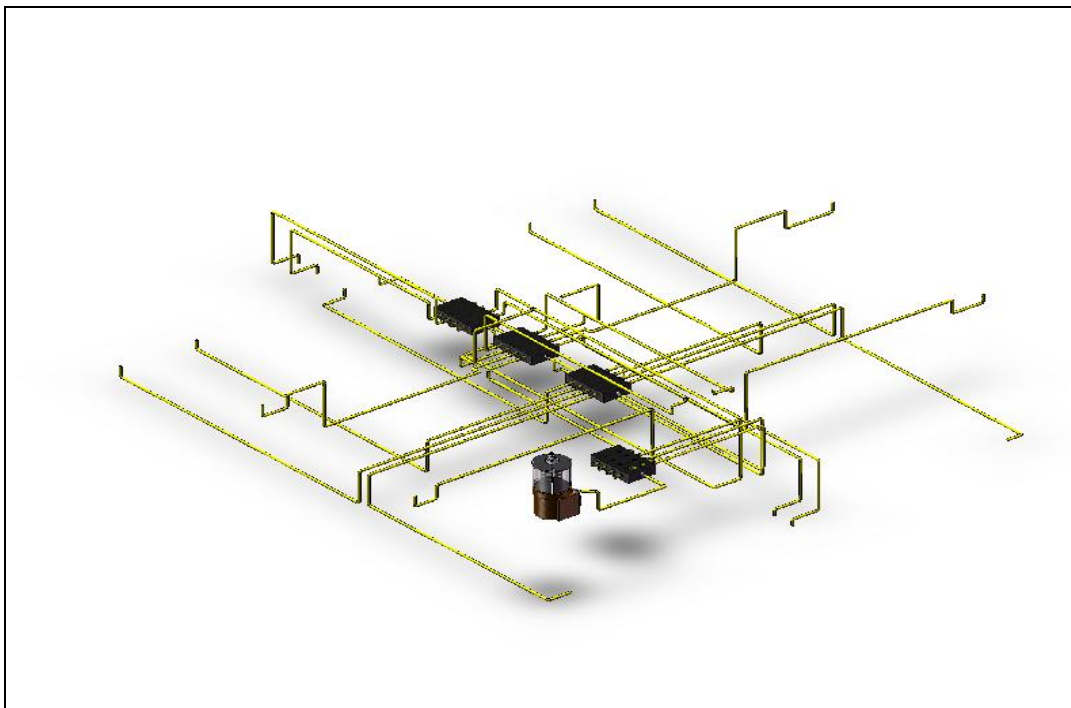


Fig. 4.25. Dibujo isométrico de la red de tuberías y los diferentes puntos de lubricación. Fuente. Mercado A, Iván 2008.



**Fig.4.26. Sistema de Tuberías, Bomba y Distribuidores.
Fuente. Mercado A. Iván, 2008**

4.6. Cálculos del sistema de lubricación.

Los cálculos desarrollados a continuación para el sistema de lubricación radican en determinar la disponibilidad requerida por las bombas a utilizar para lubricar, tipo de lubricante a usar, volumen de grasa requerida para los elementos, selección de diámetro de tubería, comportamiento del fluido a lo largo de tubería y pérdidas.

4.6.1 Selección del lubricante.

Los criterios de selección del lubricante se establecieron en función de las condiciones de operación de la máquina, tales como: temperatura del ambiente, temperatura de operación, ambiente, contaminación. En la tabla 4.11 se muestran los datos de temperatura tomados en el área de empaque y paletizado.

Factores	Transfer Car	Paletizadores	Sistema de transporte de paletas llenas.
Temp. Ambiente	35 °C	35°C	35 °C
Temp. Operación	36 - 40 °C	36 - 40 °C	36 - 40 °C
Ambiente	Humedad	Humedad	Humedad
Contaminación	Partículas de vidrio	Partículas de vidrio	Partículas de vidrio

Tabla. 4.11. Factores a considerar en la selección del lubricante.

Fuente: Mercado A. Iván, 2008

En función del ambiente y las condiciones de operación de la máquina mostrada en la tabla anterior se deben considerar las siguientes características y propiedades al momento de seleccionar el lubricante:

- El lubricante debe ser lo suficientemente viscoso para soportar las temperaturas de operación las cuales se encuentran en rangos (36 – 40 °C).
- Debe usarse un lubricante antioxidante debido que existen contaminantes como polvo y partículas de vidrio.

Los fabricantes de rodamientos Sealmaster; marca usada en gran parte de los equipos en zona Fría específicamente el área de empaque y paletizado, recomiendan para la relubricación de sus rodamientos, grasas multipropósito jabón de litio con una consistencia 2 en la escala NLGI, ya que estas cumplen con una buena estabilidad en una gama amplia de temperatura, además son poco solubles al agua, por lo que pueden ser usadas en ambientes húmedos.(Sealmaster, 2005)

Las grasas seleccionadas se muestran en la tabla 4.12. En el apendice D se muestran las especificaciones técnicas de cada uno de ellas.

CODIGO		VENOLIT MP Grasa de servicio múltiple	Shell Alvania
Especificaciones Técnicas	Tipo de espesante	Jabón de Litio	Jabón de Litio
	Penetración	280	295
	Punto de goteo (°C)	190	180
	NLGI	2	2
	Viscosidad del aceite a 40°C	170	189
	Características	Protege las superficies metálicas de corrosión y herrumbre, buena resistencia al arrastre por agua y a la oxidación	Buena bombeabilidad, resistencia al barrido y arrastre por agua, resistencia a la oxidación, protección contra la herrumbre y corrosión

Tabla 4.12. Propiedades y características de las grasas seleccionadas.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

4.6.2 Selección del diámetro y material de tubería.

La empresa estableció como restricción del proyecto que el diámetro de la tubería a seleccionar, debe ser 3/8" y se debe fijar cobre como material a utilizar debido a la facilidad y experiencia que tiene la empresa trabajando con este tipo de tuberías, además que es mucho más económico y existe disponibilidad de partes locales, así como la garantía de ser el diámetro comercial recomendado por las empresas fabricantes de equipos de lubricación centralizada.

4.6.3 Cálculo de los caudales requeridos.

Para el diseño del sistema de lubricación se estableció un tiempo máximo de 5 minutos por cada ciclo de lubricación como restricción asociada al diseño por parte de la empresa Owens Illinois, ya que de esta forma se estarían optimizando los tiempos manuales del operario al realizar su rutina de lubricación, dichos tiempos oscilan entre 20 y 30 minutos.

De información obtenida en el inventario de lubricación se tiene que el fabricante, recomienda relubricar sus rodamientos con cantidades de grasas previamente establecidas en intervalos de tiempo fijados según las condiciones ambientales a las cuales estén sometidos los rodamientos y según el tipo de elemento rodante que contengan. En la tabla 4.13, 4.14, 4.15, se muestran los resultados para los factores antes mencionados.

Tamaño de eje (pulgadas).	Cantidad de grasa recomendada para la relubricación (onzas).
1-3/16 – 1-1/4	0,10
1-3/8 – 1-7/16	0,22
1-1/2 – 1-11/16	0,32
1-3/4 – 2	0,50

2-3/16	0,55
2-1/4 – 2-1/2	0,65

Tabla 4.13. Lubricación de rodamientos de aguja.

Fuente. Sealmaster. (2005)

Tamaño de eje (pulgadas).	Cantidad de grasa recomendada para la relubricación (onzas).
$\frac{1}{2} - \frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{7}{8} - 1\text{-}3/16$	$\frac{3}{8}$
$1\text{-}1/4 - 1\text{-}1/2$	$\frac{5}{8}$
$1\text{-}11/16 - 1\text{-}15/16$	$\frac{5}{8}$
$2 - 2\text{-}7/16$	$\frac{3}{4}$
$2\text{-}1/2 - 2\text{-}15/16$	$1\text{-}1/2$

Tabla 4.14. Lubricación de rodamientos de bola.

Fuente. Sealmaster (2005)

Velocidad de giro (RPM)	Temperatura	Condiciones de trabajo	Intervalos de relubricación
100	Mayor a 120°F	Limpio	De 6 a 12 meses
500	Mayor a 150°F	Limpio	De 2 a 6 meses
1000	Mayor a 210°F	Limpio	De 2 semanas a 12 mese
1500	210°F	Limpio	Semanal

Cualquier velocidad	Mayor 150°F	Sucio	De 1 semana a 1 mes
Cualquier velocidad	150°F	Sucio	Diario a 2 semanas
Cualquier velocidad	Cualquier temp	Muy Sucio	Diario a 2 semanas

Tabla. 4.15. Intervalos de lubricación según condiciones de trabajo.

Fuente. Sealmaster. (2005)

4.6.3.1 Transfer Car.

- **Rodamientos de bola 2-1/2". Serie SP – 40.**

Cantidad de grasa requerida.

$$masa\ 1 = 42,52428\ g\ c/u$$

- **Rodamientos de aguja 1-1/4". Serie RFB – 104.**

Cantidad de grasa requerida.

$$masa\ 2 = 2,8349\ g\ c/u$$

- Rodamientos Torrington de aguja 1-7/8". IKO BR202B16.

Cantidad de grasa requerida. Utilizando la ecuación 2.16

$$masa\ 3 = 6,048375\ g\ c/u$$

Este valor de la cantidad de grasa es el recomendado según el fabricante para un intervalo de relubricación semanal.

El diseño de los sistemas de lubricación centralizados se hace para garantizar pequeñas cantidades de lubricante y mayores intervalos de relubricación, de manera tal que se realizó el cálculo de la cantidad diaria requerida por el rodamiento y utilizando como restricción que el tiempo de lubricación por ciclo no debe exceder los 5 min, según lo indicado anteriormente (Párrafo inicial de esta sección)

$$masa\ 1 = \frac{42,52428g}{7días} = 6,0748\ \frac{g}{día}$$

$$\dot{m}1 = \frac{6,0748g}{5\ min} = 1,21496\ \frac{g}{min}$$

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{1,21496\ \frac{g}{min}}{0,9\ \frac{g}{cm^3}} = 1,34995\ \frac{cm^3}{min}$$

Se realizó el mismo procedimiento para el resto de los tramos los resultados se muestran en la tabla 4.16.(a).

Tramos	Caudales (cm ³ /min)
Distribuidor 4 - (1,2,3,4)	0,1920
Distribuidor 3 – (5,6,7,8,9,10,11,12)	1,34995
Distribuidor 2 - (13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24)	0,0899
Línea A	0,768
Línea B	10,7996
Línea C	1,0788
Total	12,66

Tabla 4.16 (a). Caudales requeridos por el sistema. Transfer Car

Fuente: Mercado A. Iván, 2008.

El caudal de la línea A se obtiene de la suma de los caudales de los tramos Distribuidor 4 - (1 – 4), el de la línea B con los tramos Distribuidor 3 – (5 – 12) y la línea C tramos Distribuidor 2 (13 – 24), el caudal total es la suma de las 3 líneas. Para ver los cálculos completos revisar Apéndice E.

4.6.3.2 Paletizador.

De igual manera que con el transfer Car, se procede a calcular los caudales para el paletizador.

Rodamientos de aguja 1 ½” Serie RFB – 104. Malla transportadora del sistema de acumulación de envases.

Cantidad de grasa.

$$masa\ 1 = 9,0718\ g\ c/u$$

Los rodamientos de la malla transportadora del sistema de acumulación de envases, son iguales por lo que la cantidad de grasa requerida es la misma para los 8 rodamientos.

Rodamientos de aguja 1 ½” Serie SP – 40. Sistema de transmisión del ascensor.

Cantidad de grasa.

$$masa\ 2 = 9,0718\ g\ c/u$$

Este valor de la cantidad de grasa es el recomendado según el fabricante para un intervalo de relubricación semanal.

Se realizó el cálculo de la cantidad diaria requerida por el rodamiento y utilizando como restricción que el tiempo de lubricación por ciclo no debe exceder los 5 min, como ya se menciona

$$masa\ 1 = \frac{9,0718\ g}{7\ dias} = 1,2959\ \frac{g}{dia}$$

$$\dot{m}1 = \frac{1,2959\ g}{5\ min} = 0,2591\ \frac{g}{min}$$

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{0,2591\ g/min}{0,9\ \frac{g}{cm^3}} = 0,2879\ \frac{cm^3}{min}$$

Se realizó el mismo procedimiento para el resto de los rodamientos. Los resultados se muestran en la tabla 4.16 (b).

Tramos	Caudales (cm³/min)
Distribuidor - (1,2,3,4,5,6,7,8)	0,2879
Distribuidor- (9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19)	0,2879
0 - Distribuidor	5,4701
Total	5,4701

Tabla 4.16(b). Caudales requeridos por el Sistema. Paletizador

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

4.6.4. Cálculo de pérdidas, disponibilidad y regímenes de flujo.

4.6.4.1 Transfer Car.

Para determinar el régimen de flujo, se calculó el Número de Reynolds, utilizando la ecuación 2.13.

$$Re = \frac{V \times D \times \rho}{\mu} = \frac{V \times D}{\nu}$$

Tramo 0 – Distribuidor 1. Utilizando la ecuación 2.7 calculamos la velocidad promedio.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{\dot{m}}{\rho \times A} = \frac{12,66 \text{ cm}^3/\text{min}}{\pi (0,72517 \text{ cm})^2/4} = 30,6523 \text{ cm/min} = 5,1087 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

Ahora con la ecuación 2.10 se calcula el Número de Reynolds.

$$Re = 5,1087 \times 10^{-3} m/s \frac{(0,0072517 m)}{0,00017 m^2/s} = 0,2179$$

Según el Número de Reynolds obtenido podemos decir que el flujo se encuentra en régimen laminar, ahora se calcula el factor de fricción utilizando la ecuación 2.11.

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{0,2179} = 293,7127$$

Calculamos las pérdidas con la ecuación 2.7.

$$hf = 293,9638666 \times 1m \times \frac{(5,1087 \times 10^{-3} m/s)^2}{0,0072517m \times 2(9,81m/s^2)} = 5,38202051 \times 10^{-2} m. c. f$$

En la tabla 4.17 (a) se muestran los resultados de los cálculos de los parámetros de velocidad, número de Reynolds, factor de fricción y pérdidas en tuberías. Cálculos completos en el apéndice E

Tramo	Velocidad promedio (cm/min)	Numero de Reynolds	Factor de fricción	Perdidas en tuberías (cm.c.f)	Longitudes (cm)
Línea A	1,859596017	0,013220816	4840,85093	0,424874771	130
Línea B	26,14850492	0,185903052	344,2654614	5,284984116	115
Línea C	2,614802529	0,018589964	3442,717761	0,275733244	60
0 – Distribuidor 1	30,62290347	0,217713832	293,9638666	5,38202051	100

Tabla. 4.17 (a). Parámetros hidráulicos del sistema. Transfer Car

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

De los resultados obtenidos en la tabla 4.17 (a) se puede decir que los valores de pérdidas en tuberías son bajos debido a los valores de velocidad tan pequeños en distancias de tramo tan cortas.

Para realizar el balance de energía se estudio cada línea por separado, debido a que los distribuidores por ser modulares proporcionan salidas independientes de caudal en un instante de tiempo. Ver catalogo del equipo Apéndice F

Utilizando la ecuación 2.15 tenemos que:

Línea A.

$$H_{maq}(0) = H_1 + hf_{distribuidor1} + hf_{tramo}(0 - dist1) + hf_{tramo}(línea A) + hf_{distribuidor4}$$

De acuerdo con la consulta a un asistente técnico de la empresa Hidrostática de Venezuela, representante autorizado de la marca Cirval, empresa fabricante de los distribuidores modulares de grasa utilizados en el diseño recomienda estimar las pérdidas de dicho accesorio en un incremento del 30% de las pérdidas del tramo anterior a él.

$$H_{maq}(0) =$$

$$101,3 \text{ Kpa} + 7 \times 10^{-2} m.c.f \left(8,829 \frac{KN}{m^3} \right) + 5,38 \times 10^{-2} m.c.f \left(8,829 \frac{KN}{m^3} \right) + 0,42 \times 10^{-2} m.c.f \left(8,829 \frac{KN}{m^3} \right) + 0,546 \left(8,829 \frac{KN}{m^3} \right) = 102,4783 \text{ Kpa}$$

Se realizo el mismo procedimiento para las demás líneas y se compararon los valores de H_{maq} , tomando el mayor valor para la selección de la bomba. (Ver apéndice E para revisar los cálculos correspondientes a todas las líneas.)

En la tabla 4.18 se muestran los valores de H_{maq} para las diferentes Líneas.

Línea	Hmaq
Línea A	102,4783 Kpa
Línea B	103 Kpa
Línea C	102 Kpa

Tabla.4.18. Valores de Hmaq para las diferentes líneas Transfer Car.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

En la tabla 4.19(a) se muestran los valores de altura de máquina requerida y caudal máximo requerido.

Altura de máquina requerida (Kpa)	103
Caudal máximo requerido (cm ³ /min)	12,66

Tabla 4.19.(a) Valores requeridos por el sistema. Transfer Car.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

Se seleccionó una bomba **ECB-EM-1(7)2-A-2** marca Cirval (ver catalogo de la bomba en el apendice F) Con un caudal de 11,44 cm³/min y una presión máxima de operación de 250 bar.

Los distribuidores seleccionados se muestran en la tabla 4.20 y los cálculos correspondientes a su selección se muestran en el apéndice E

Distribuidor	No de módulos	Capacidad de descarga/modulo (cm^3/min)	Presión máxima de operación (bar)	Ciclaje máximo/min
1) MJ3 – 7 – (5S – 10S – 5S)	3	Módulo 1 = 0,162. Módulo 2 = 0,326. Módulo 3 = 0,162	110	150
2) MJ3 – 7 – (5T – 5T – 5T)	3	3 Módulos = 0,081 c/u	110	150
3) MJ4 – 7 – (10T – 10T – 10T – 10T)	4	4 Módulos = 0,163 c/u	110	150
4) MJ6 – 7 – (5T – 5T – 5T)	6	6 Módulos = 0,081 c/u	110	150

Tabla 4.20. Características de los Distribuidores seleccionados.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

De la tabla 4.26 el código del distribuidor representa lo siguiente. (Cirval, 2008)

MJX-Y-(ZT-ZT-ZT).

(MJ) es el código general del distribuidor de simple línea progresivo, el valor de (X) representa el numero de módulos que posee el distribuidor, el valor de (Y) nos indica si posee o no indicador de ciclos. Si el valor de (Y) es 7 entonces el distribuidor posee indicador de ciclos, sino se obvia ese número. Finalmente el valor de (Z) representa el tamaño del modulo. La letra que acompaña a la (Z) no necesariamente debe ser (T), también puede ser (S). Esto nos dice si el modulo es de salida doble o sencilla, cuando es (T) será doble cuando es (S) será sencilla.

4.6.4.2 Paletizador.

Se realiza el mismo procedimiento para los cálculos en el paletizador. Cálculo tipo:

$$Re = \frac{V \times D \times \rho}{\mu} = \frac{V \times D}{\nu}$$

Tramo 0 – Distribuidor. Utilizando la ecuación 2.7 calculamos la velocidad promedio.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{\dot{m}}{\rho \times A} = \frac{5,4701 \text{ cm}^3/\text{min}}{\pi (0,72517 \text{ cm})^2/4} = 13,2441 \text{ cm/min}$$

Ahora con la ecuación 2.10 se calcula el Número de Reynolds.

$$Re = 13,2441 \text{ cm/min} \frac{(0,72517 \text{ cm})}{102 \text{ cm}^2/\text{min}} = 0,0941$$

Según el Número de Reynolds obtenido podemos decir que el flujo se encuentra en régimen laminar, ahora se calcula el factor de fricción utilizando la ecuación 2.11.

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{0,0941} = 679,695$$

Calculamos las pérdidas con la ecuación 2.7.

$$hf = 679,695 \times 150 \text{ cm} \times \frac{(13,2441 \text{ cm/min})^2}{0,72517 \text{ cm} \times 2(3531600 \text{ cm/min}^2)} = 3,4915 \text{ cm. c. f}$$

Tramo	Perdidas en tuberías (cm.c.f)	Longitudes (cm)
Dist - 1	0,2450	200
Dist – 2	0,3062	250
Dist – 3	0,3675	300
Dist – 4	0,4287	350
Dist – 5	0,4900	400
Dist – 6	0,5512	450
Dist – 7	0,6125	500
Dist – 8	0,6738	550
Dist – 9	0,2450	200
Dist – 10	0,2450	200
Dist – 11	0,2450	200
Dist – 12	0,2450	200
Dist – 13	0,2450	200
Dist – 14	0,2450	200
Dist – 15	0,3062	250
Dist – 16	0,3062	250
Dist – 17	0,3062	250
Dist – 18	0,3062	250
Dist - 19	0,3062	250
0 - Dist	3,4915	150

Tabla 4.17 (b). Perdidas en tuberías. Paletizador.**Fuente. Mercado A. Iván, 2008.**

Para realizar el balance de energía se estudio el tramo que proporcionara mayor perdida, debido a que los distribuidores por ser modulares proporcionan salidas independientes de caudal en un instante de tiempo (ver apéndice E).

$$H_{maq}(0) = H1 + hf_{tramo}(dist - 8) + hf_{dist} + hf_{tramo}(0 - dist)$$

$$H1 = \frac{P1}{\gamma} + Z1$$

De acuerdo con la consulta a un asistente técnico de la empresa Hidrostática de Venezuela, representante autorizado de la marca Cirval, empresa fabricante de los distribuidores modulares de grasa utilizados en el diseño recomienda estimar las pérdidas de dicho accesorio en un incremento del 30% de las pérdidas del tramo anterior a él.

$$\begin{aligned} H_{maq}(0) &= 101,3 \text{ Kpa} + 2 \text{ m} \left(8,829 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \right) + 0,6738 \times 10^{-2} \text{ m.c.f} \left(8,829 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \right) \\ &+ 4,53 \times 10^{-2} \text{ m.c.f} \left(8,829 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \right) + 3,495 \times 10^{-2} \text{ m.c.f} \left(8,829 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \right) \\ &= 120 \text{ Kpa} \end{aligned}$$

De los valores de caudal obtenidos en la tabla 4.16 (b) y el resultado de H_{maq} . Se tiene el valor del punto de trabajo y los valores se muestran en la tabla 4.19 (b)

Altura de máquina requerida (Kpa)	120
Caudal máximo requerido (cm ³ /min)	5,4701

Tabla 4.19 (b) Valores requeridos por el sistema. Paletizador.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

Se selecciono una bomba **ECB-EM-1(5)2-A-2** marca Cirval, con un caudal 5,72 cm³/min y una presión máxima de operación de 250 bar. (ver catalogo de la bomba en el apéndice E)

El distribuidor seleccionado fue el **MJ10-7-(5T-5T-5T-5T-5T-5T-5T-5T-5S)**.

4.7. Confiabilidad del Sistema de Lubricación diseñado.

Para estimar la confiabilidad del sistema diseñado, se realizó un Análisis de Modos y Efectos de Fallas (Ver apéndice G), en el cual se estudiaron las posibles fallas que pueden presentar los componentes del sistema y de esta manera dar testimonio acerca de las posibles garantías que puede dar este sistema en un periodo determinado, lo que se traduce en confiabilidad. Con base a esta información se realizó una entrevista a representantes legales, de empresas fabricantes de sistemas de lubricación centralizada, donde se recaudó información acerca del número de fallas que se podían estimar para un periodo de un año. Por ser un sistema de fácil instalación y presentar componentes de práctico funcionamiento la empresa Hidrostática de Venezuela (encargada de suministrar los equipos de lubricación para el diseño) dio testimonio que solo se podía esperar no más de una falla por problemas eléctricos o fallas en la programación del PLC (controlador) encargado de controlar las funciones y los tiempos de la bomba.

En relación a la información obtenida se realizaron los cálculos de confiabilidad en el cual se obtuvieron resultados de un 92 % de confiabilidad para el primer mes (Ver apéndice G). Este es un valor bastante alto, además si lo comparamos con la confiabilidad que presentaban los sistemas de lubricación tanto del Transfer Car como del Paletizador, se puede apreciar que existe un incremento notable.

En la figura 4.27 y Tabla 4.21 se reflejan los valores de confiabilidad con el nuevo sistema de lubricación

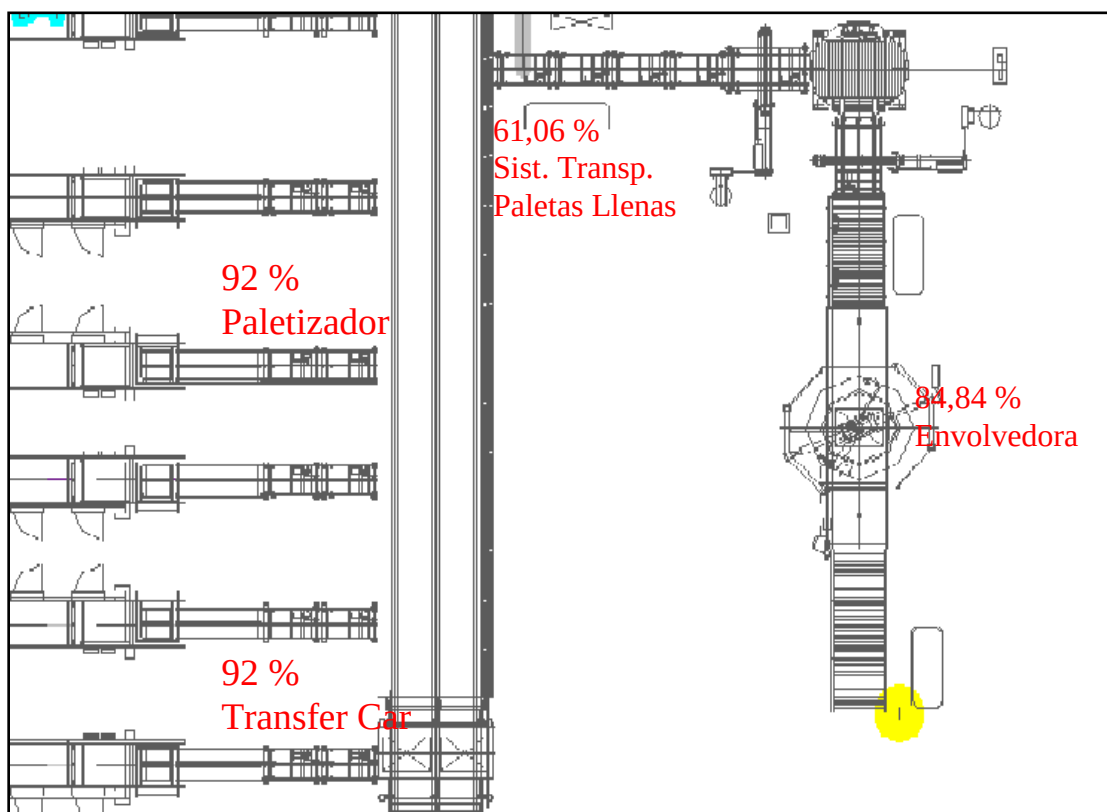


Fig.4.27. Valores de confiabilidad Sistema de Lubricación diseñado.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

Zona Fría	Confiabilidad
Transfer Car	29,14%
Paletizador	66,30%
Máquina Flejadora	84,84%
Sistema de transporte de paletas llenas	61,06%
Envolvedora	100 %

Tabla 4.21. Valores de confiabilidad del Sistema diseñado

Fuente: Mercado A. Iván, 2008.

4.8. Sistema de Control.

El sistema es gobernado mediante una unidad de Control, instalado con la bomba eléctrica de lubricación. La señal de un temporizador acciona el motor eléctrico que pone en funcionamiento la bomba para empezar el ciclo de lubricación. Los tiempos de operación y tiempos de pausa se programan mediante un tablero de control y su respectivo display, además la bomba cuenta con un (LLC) controlador de bajo nivel el cual, como su nombre lo indica envía una señal de error a la pantalla de la bomba cuando la cantidad de lubricante en el reservorio ha bajado del límite. A continuación en la figura 4.28 se muestra un diagrama del sistema de control.

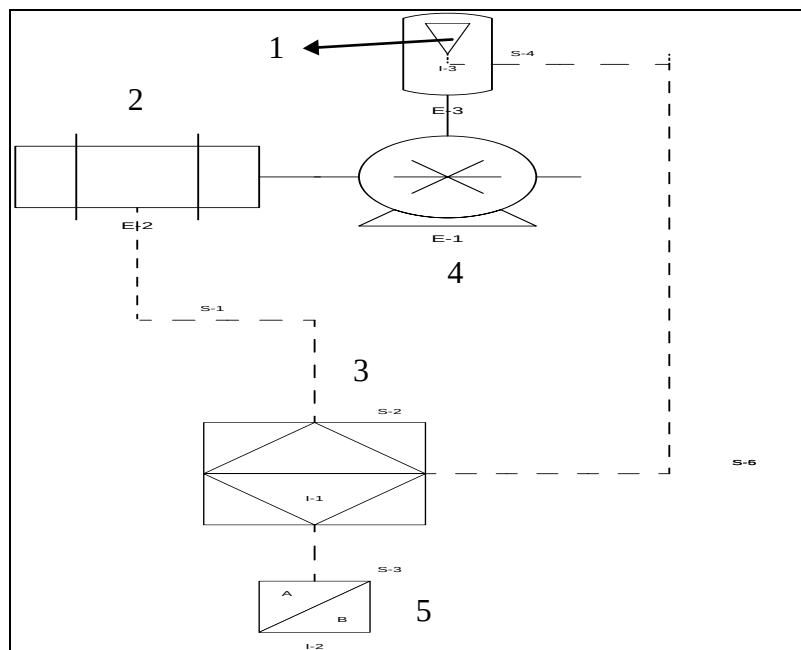


Fig. 4.28. Diagrama de Control del Sistema Diseñado.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

En la figura el 1 corresponde al controlador de nivel, el 2 al motor eléctrico, 3 Unidad de Control, 4 Bomba Eléctrica y 5 Tablero del operador.

4.9 Estudio de la factibilidad económica del proyecto.

Para el estudio de la factibilidad económica del proyecto se empleara el método del valor actual, donde se compararan los ingresos netos de la situación actual y la propuesta de rediseño.

Para el estudio económico se tomaron como modelo las líneas D2, E1, E2; por ser las líneas más críticas en cuanto a acumulación de envases se refieren, lo cual puede generar pérdidas de producción.

En la tabla 4.22 se muestran los datos promedios de BPM (botellas por minuto), eficiencia de la máquina y tiempo de acumulación para las líneas antes mencionadas en el tiempo de estudio.

Tabla 4.22. Valores promedio de las líneas de producción. Mayo 2007 – Mayo 2008.

Línea	BPM	Eficiencia de la máquina (%)	Tiempo de acumulación (min)
Línea D2	420	96	20
Línea E1	235	97	30
Línea E2	270	98	30

Fuente. Owens Illinois de Venezuela.

Para obtener el numero de botellas que se producen por minuto por cada línea se multiplican las BPM por la eficiencia de la máquina.

Línea D2.

No de botellas = $420 \times 0,96 = 404$ botellas/minuto = 581760 botellas/día = 17452800 botellas/mensuales.

Tiempo de fabricación de la botella = 0,002 min

Precio Bs/unidad = 0,400

La producción teórica que tiene la planta como meta alcanzar en la línea D2 es de 17452800 de botellas mensuales para el molde EV-1919, el cual corresponde al envase de jugos Yukeri, esto se traduce en 209433600 botellas al año.

Producción que se desecha por paradas no planificada.

En la tabla 4.23 se muestran los tiempos de reparación del Transfer Car cuando le ocurrió alguna falla en el periodo de estudio.

Tabla 4.23. Tiempo de reparación en fallas del Transfer Car.

N	Fecha	Tiempo de reparación (minutos)
15	01/05/2008	70
14	30/04/2008	120
13	20/04/2008	50
12	11/04/2008	90
11	14/03/2008	180
10	10/03/2008	60
9	05/02/2008	50
8	07/01/2007	45
7	31/12/2007	240
6	06/11/2007	60
5	08/10/2007	60
4	11/09/2007	60
3	03/08/2007	70
2	04/07/2007	150
1	01/06/2007	120

Fuente. Owens Illinois de Venezuela.

Con los valores de la tabla 4.22 De tiempo de acumulación de la línea y los tiempos de reparación mostrados en la tabla 4.23 se obtiene el tiempo de pérdida de producción.

Con el tiempo de pérdida de producción y las BPM de la máquina multiplicados por la eficiencia de la máquina nos da el numero de botellas que se dejaron de producir en el periodo de estudio por causa de las paradas no programadas.

$$N^{\circ} \text{ de envases perdidos} = 1125 \text{ min} \times 404 \text{ botellas/min} = 454500 \text{ botellas}$$

Esto nos dice que la empresa obtuvo una producción de 208979100 botellas para la línea D2 en el periodo de estudio.

Línea E1.

La producción de la línea E1 corresponde al molde CV1826 (Mayonesa Kraft 1 kilo).

$$\text{No de } \frac{\text{botellas}}{\text{mes}} = 9849600$$

Precio unitario = 0,998 BsF.

La meta de producción para la línea E1 es 118195200 botellas en el periodo de estudio.

Con los valores de la tabla 4.22 De tiempo de acumulación de la línea y los tiempos de reparación mostrados en la tabla 4.23 se obtiene el tiempo de pérdida de producción.

Con el tiempo de pérdida de producción y las BPM de la máquina multiplicados por la eficiencia de la máquina nos da el número de botellas que se dejaron de producir en el periodo de estudio por causa de las paradas no programadas.

$$\text{No de envases perdidos} = 985 \text{ min} \times 228 \text{ botellas/min} = 224580 \text{ botellas}$$

La producción de la línea E1 fue de 117970620 botellas.

Línea E2.

La producción de la línea E2 corresponde al molde CV1774 (Mayonesa Kraft 1/2 kilo).

$$No\ de\ \frac{botellas}{mes} = 11430720$$

Precio unitario = 0,780 BsF.

La meta de producción para la línea E2 es 137168640 botellas en el periodo de estudio.

Con los valores de la tabla 4.22. De tiempo de acumulación de la línea y los tiempos de reparación mostrados en la tabla 4.23 se obtiene el tiempo de pérdida de producción.

Con el tiempo de pérdida de producción y las BPM de la máquina multiplicados por la eficiencia de la máquina nos da el numero de botellas que se dejaron de producir en el periodo de estudio por causa de las paradas no programadas.

$$No\ de\ envases\ perdidos = 985\ min \times 265\ botellas/min = 261025\ botellas$$

La producción de la línea E2 fue de 136907615 botellas.

Todos los precios unitarios de los envases citados fueron proporcionados por el Departamento de Finanzas de la Empresa Owens Illinois de Venezuela Planta Los Guayos.

Ingreso de la situacion actual

$$\begin{aligned}
 &= 208979100 \text{ botellas} \times 0,400 \frac{\text{BsF}}{\text{botella}} \\
 &+ 117970620 \text{ botellas} \times 0,998 \frac{\text{BsF}}{\text{botella}} \\
 &+ 136907615 \text{ botellas} \times 0,780 \frac{\text{BsF}}{\text{botella}} = 308114258,5 \text{ BsF}
 \end{aligned}$$

4.9.1 Inversión inicial.

A continuación se determinara el costo inicial del proyecto a partir de los costos (BsF) por adquisición de equipos de bombeo, tuberías y accesorios e instalación de tuberías entre otros. Los valores que se muestran en la tabla 4.24 son obtenidos de fuentes legales proporcionadas por la empresa Owens Illinois de Venezuela (Ver apéndice H)

Tabla.4.24. Costo de los materiales.

Descripción	Cantidad	Precio unitario BsF	Total BsF
Tubería de cobre 3/8" x 15 m	4	40	160
Conectores 3/8" x 1/8"	24	42	1008
Distribuidores modulares marca Cirval	4	1300	5200
Bomba eléctrica marca Cirval	1	4000	4000
Lamina de hierro negro de 1/4" x 1,20m	1	227	227
Costo de instalación	1	5000	5000
Total II			15595

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

Para determinar el ingreso neto de la nueva propuesta se tomo como referencia la producción la meta de botellas para las líneas en estudio, a continuación se va a estimar la producción durante un año para compararla con la real durante el periodo de estudio.

Ingreso de la nueva propuesta

$$\begin{aligned} &= 209433600 \text{ botellas} \times 0,400 \frac{\text{BsF}}{\text{botella}} \\ &+ 118195200 \text{ botellas} \times 0,998 \frac{\text{BsF}}{\text{botella}} \\ &+ 137168640 \text{ botellas} \times 0,780 \frac{\text{BsF}}{\text{botella}} = 308723788,4 \text{ BsF} \end{aligned}$$

Ingreso NT = ingreso neto de la nueva propuesta – II

$$\text{Ingreso NT} = (308723788,4 - 15595) = 308708193,4 \text{ BsF}$$

Comparando los ingresos netos de la situación actual con la propuesta se determina el beneficio neto:

Bn = Ingreso NT – Ingreso situacion actual

$$Bn = (308708193,4 - 308114258,5) = 593394,9 \text{ BsF}$$

El beneficio neto representa una ganancia mayor para la empresa que las ganancias obtenidas por el ingreso neto de la situación actual, indicando que la propuesta es factible para la empresa.

ÍNDICE DE FIGURAS

TITULO	Pág.
FIGURA 2.1. Pistola de Lubricación	16
FIGURA 2.2. Sistema de Lubricación por goteo	17
FIGURA 2.3. Lubricación por Neblina	18
FIGURA 2.4 Sistema de Línea Simple	20
FIGURA 2.5 Sistema de Doble Línea	21
FIGURA 2.6 Sistema Progresivo	23
FIGURA 4.1 Corte del Layout del Area de Empaque y Paletizado	42
FIGURA 4.2 Sistema de Choque del Transfer Car	43
FIGURA 4. 3 Sistema de Choque del Transfer Car	44
FIGURA 4.4 Transportador	45
FIGURA 4.5 Sistema Motriz	46
FIGURA 4. 6 Sistema de Sujeción	47
FIGURA 4.7 Detalle de la Cremallera de Ascenso y Descenso	47
FIGURA 4.8 Malla Transportadora de Envases	48
FIGURA 4.9 Sistema de Acumulación de envases	49
FIGURA 4.10 Ajustadores de Camadas	50
FIGURA 4.11 Palas de Arrastre de Camada	50
FIGURA 4.12 Sistema de Transmisión del Ascensor	51
FIGURA 4.13 Ascensor de Paletas	52
FIGURA 4.14 Transportador de Salida del Ascensor	52
FIGURA 4.15 Sistema de Transporte de Paletas Llenas	53
FIGURA 4.16 Flejadora	54
FIGURA 4.17 Envolvedora.	54
FIGURA 4.18 Grafico Comparativo del consumo de grasa	59
FIGURA 4.19 Curva de Confiabilidad Transfer Car	62
FIGURA 4.20 Valores de Confiabilidad obtenidos	63
FIGURA 4.21 Sistema de Lubricación Transfer Car. Alternativa 1	66

FIGURA 4.22 Sistema de Lubricación Transfer Car. Alternativa 2	68
FIGURA 4.23 Sistema de Lubricación Paletizador	70
FIGURA 4.24 Diseño Seleccionado del Sistema de Lubricación Transfer Car	74
FIGURA 4.25 Isometría de la red de Tubería y los diferentes puntos de Lubricación	75
FIGURA 4.26 Sistema de Tuberías, Bomba y Distribuidores	75
FIGURA 4.27 Valores de Confiabilidad del Sistema Diseñado	94
FIGURA 4.28 Diagrama del Sistema de Control	95
FIGURA G.1 Curva de Transfer Car	141
FIGURA G.2 Curva de Confiabilidad Paletizador	143
FIGURA G.3 Curva de Confiabilidad Flejadora	144
FIGURA G.4 Curva de Confiabilidad Sist Transp Paletas Llenas	146
FIGURA G.5 Curva de Confiabilidad Sistema Diseñado	149
FIGURA H.1 Costo de la Tubería de Cobre	151
FIGURA H.2 Costo de la Lamina de Hierro 1/4"	152

ÍNDICE DE TABLAS

TITULO	Pág.
TABLA 2.1. Limites de Consistencia de las Grasas	13
TABLA 4.1 Inventario de Lubricación Transfer Car	56
TABLA 4.2 Inventario de Lubricación Paletizador	58
TABLA 4.3 Registro de Fallas Transfer Car	60
TABLA 4.4 Confiabilidad Transfer Car	61
TABLA 4.5 Valores de Confiabilidad obtenidos	63
TABLA 4.6 Ponderación de los Criterios Seleccionados	71
TABLA 4.7 Restricciones para el Diseño	71
TABLA 4.8 Evaluación de las Alternativas según Restricciones	71
TABLA 4.9 Evaluación final de las Soluciones para el Sistema de Lubricación	72
TABLA 4.10 Ponderación Final de las Alternativas de Solución	73
TABLA 4.11 Factores a Considerar en la Selección del Lubricante	75
TABLA 4.12 Propiedades y Características de las Grasas Seleccionadas	77
TABLA 4.13 Lubricación de Rodamientos de Aguja	79
TABLA 4.14 Lubricación de Rodamientos de Bola	79
TABLA 4.15 Intervalos de Lubricación según Condiciones de Trabajo	80
TABLA 4.16(a) Caudales requeridos Transfer Car	82
TABLA 4.16(b) Caudales requeridos Paletizador	84
TABLA 4.17(a) Parámetros Hidráulicos Transfer Car	85
TABLA 4.17(b) Parámetros Hidráulicos Paletizador	90
TABLA 4.18 Valores de Hmaq. Para las diferentes Líneas Transfer Car	87
TABLA 4.19(a) Valores requeridos por el sistema Transfer Car	87
TABLA 4.19(b) Valores requeridos por el sistema Paletizador	91
TABLA 4.20 Características de los Distribuidores Seleccionados	88
TABLA 4.21 Valores de Confiabilidad del Sistema Diseñado	93
TABLA 4.22 Valores Promedio de las Líneas de Producción	95
TABLA 4.23 Tiempo de Reparación entre fallas Transfer Car	96

TABLA 4.24 Costo de los Materiales	
TABLA A.3 Inventario de Lubricación Flejadora	114
TABLA A.4 Inventario de Lubricación Sist. Transporte de Paletas Llenas	115
TABLA D.1 Características de la Grasa Venolit MP	122
TABLA D.2 Características de la Grasa Shell Alvania	122
TABLA G.1 Registro de Fallas Transfer Car	139
TABLA G.2 Valores de Confiabilidad Transfer Car	140
TABLA G.3 Registro de Fallas Paletizador	141
TABLA G.4 Valores de Confiabilidad Paletizador	142
TABLA G.5 Registro de Fallas Flejadora	143
TABLA G.6 Valores de Confiabilidad Flejadora	144
TABLA G.7 Registro de Falla Sist. Transp. Paletas Llenas	145
TABLA G.8 Valores de Confiabilidad Sist. Transp. Paletas Llenas	146
TABLA G.9 AMEF Sistema Diseñado	147
TABLA G.10 Valores de Confiabilidad Sistema Diseñado	149

NOMENCLATURA.

ρ	Densidad del fluido.
m	<i>Masa del fluido.</i>
γ	<i>Peso especifico del fluido</i>
μ	<i>Viscosidad Dinamica del fluido</i>
ν	<i>Viscosidad Cinematica</i>
$\dot{m}$	<i>Flujo masico</i>
t	<i>Tiempo</i>
h_f	<i>Perdidas por friccion en tramo</i>
f	<i>Factor de Friccion</i>
L	<i>Longitud del Tramo</i>
V	<i>Volumen del fluido</i>
v	<i>Velocidad promedio del fluido</i>
D	<i>Diametro de la tuberia</i>
A	<i>Area de la seccion transversal de la tuberia</i>
Z	<i>Altura del punto de lubricacion</i>
P	<i>Presion del punto de lubricacion</i>
G	<i>Cantidad de grasa en un rodamiento</i>
P_s	<i>Probabilidad de supervivencia</i>
P_f	<i>Probabilidad de falla</i>

α	<i>Rata de falla</i>
$r(t)$	<i>Confiabilidad</i>
Q	<i>Caudal</i>
H	<i>Disponibilidad en el punto de estudio</i>
H_{maq}	<i>Altura de Maquina requerida</i>

APENDICE A.
INVENTARIOS DE LUBRICACION

A.1 Inventarios de Lubricación.

Componentes: Corresponde a las partes más generales de cada equipo en estudio.

Partes a Lubricar: Se refiere al punto de Lubricación de cada componente en específico, es decir, el lugar donde se aplica el lubricante.

Método: Es el sistema ó instrumento con el cual se aplica el lubricante.

Cantidad: Se refiere al número de partes a Lubricar que se encuentran en cada componente.

Capacidad: Es la cantidad de lubricante que requiere cada parte a lubricar, dicha cantidad viene expresada en este caso en gramos.

Tipo de lubricante: Se refiere al tipo de Lubricante utilizado basado, en las especificaciones del fabricante de cada una de las partes.

Frecuencia: Se refiere al intervalo de lubricación, es decir cada cuanto se va a realizar la operación de lubricación, además denota si la lubricación es por relleno ó cambio. Esta frecuencia viene dada por las prácticas de Mantenimiento especificadas en los manuales del equipo ó de la parte a lubricar.

Equipo: Transfer Car.

Fabricante: Kaufman Engineered Systems

Componentes	Partes a lubricar	Método	Cantidad	Capacidad (g)	Tipo de lubricante	Frecuencia
Sistema motriz	Rodamientos de bola 2 1/2" eje principal	Grasera	6	42,52428	Grasa multipropósito NLGI 2	Semanal/Relleno
	Rodamientos de bola 2 1/2" Ruedas conducidas	Grasera	2	42,52428	Grasa multipropósito NLGI 2	Semanal/Relleno
Sistema guía	Rodamientos Torrington (rodamientos guías 1 7/8")	Grasera	4	6,048375	Grasa multipropósito NLGI 2	Semanal/Relleno

Stops de emergencia	Rodamientos axiales	Aceitera	6		Aceite SAE 40	trimestral/Relleno
Transportador	Cadenas	Aerosol	8		Aceite SAE 40	Semanal/Relleno
	Rodamientos de aguja 1 1/4" eje motriz	Grasera	6	2,8349	Grasa multipropósito NLGI 2	Semanal/Relleno
	Rodamientos de aguja 1 1/4" Piñones conducidos	Grasera	6	2,8349	Grasa multipropósito NLGI 2	Semanal/Relleno
Soporte de paletas	Cremallera de ascenso y descenso	Aerosol	2		Aceite SAE 40	Semanal/Relleno

Tabla A.1. Inventario de lubricación: Transfer Car.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

Equipo: Paletizador a granel No 1.

Fabricante: Busse Bross

Componentes	Partes a lubricar	Método	Cantidad	Capacidad (g)	Tipo de lubricante	Frecuencia
Sistema acumulación de envases	Rodamientos de bola 1 1/2" malla larga y malla corta	Grasera	8	9,0718	Grasa multipropósito NLGI 2	semanal/relleno
Sistema para el barrido de camadas	Bocina de la cadena de transmisión del carro 1"	Grasera	1	2,834	Grasa multipropósito NLGI 2	mensual/relleno
	Cadenas de transmisión	Aerosol	1		Aceite SAE 40	Trimestral/relleno

	del carro y paletas empujadoras					
	Rodamientos Torrington del carro 2"	Lubricación de por vida	8			
Transportador	Cadenas de transmisión y transporte	Aerosol	20		Aceite SAE 40	Trimestral/relleno
	Rodamientos de rodillo transportador de entrada paletas vacías 1 3/8"	Grasera	4	6,236	Grasa multipropósito NLGI 2	Trimestral/relleno
	Rodamientos de rodillo transportador salida del ascensor 1 1/2"	Grasera	6	9,0718	Grasa multipropósito NLGI 2	Trimestral/relleno
	Rodamientos de rodillo transportador de paletas llenas 1 1/2"	Grasera	4	9,0718	Grasa multipropósito NLGI 2	Trimestral/relleno
	Rodamientos de rodillo 1 1/2" ascensor	Grasera	6	9,0718	Grasa multipropósito NLGI 2	Trimestral/relleno
	Bocinas 1 1/2	Grasera	6	9,0718	Grasa multipropósito NLGI 2	Trimestral/relleno
Sistema de transmisión del Ascensor	Ruedas principales del ascensor (rodamientos de rodillo 1")	Grasera	4	2,8349	Grasa multipropósito NLGI 2	semanal/relleno

	Ruedas laterales del ascensor (bocinas 3/4)	Grasera	4	2,8349	Grasa multipropósito NLGI 2	semanal/relleno
	Cadenas de transmisión	Aerosol			Grasa multipropósito NLGI 2	semanal/relleno
	Rodamientos de rodillo ejes de transmisión 1 1/2"	Grasera	11	9,0718	Grasa multipropósito NLGI 2	semanal/relleno

Tabla A.2. Inventario de lubricación: Paletizador a granel.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

Equipo: Maquina Flejadora.

Fabricante: Signode

Componentes	Partes a lubricar	Metodo	Cantidad	Tipo de lubricante	Frecuencia
Cabezal	Placa de articulacion	Grasera	1	Grasa multipropósito NLGI 2	trimestral/relleno
	Rodamientos de las guias del carro	Grasera		Grasa multipropósito NLGI 2	trimestral/relleno
Plato de retiro	Pivote	Grasera	1	Grasa multipropósito NLGI 2	trimestral/relleno
Vibrador	Eje del vibrador	Grasera	1	Grasa multipropósito NLGI 2	trimestral/relleno
	Rodamiento de aguja (excentrica del vibrador)	Grasera	1	Grasa multipropósito NLGI 2	Trimestral/relleno
	Lobulos de la leva	Grasera	1	Grasa multipropósito NLGI 2	trimestral/relleno

Tabla A.3. Inventario de Lubricación: Maquina Flejadora.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008.

Equipo: Sistema de Transporte de paletas Llenas.

Fabricante: Kaufman Engineered Systems.

Componentes	Partes a lubricar	Metodo	Cantidad	Tipo de lubricante	Frecuencia
Transportadores	Cadenas	Aerosol	28	Aceite SAE 40	trimestral/relleno
	Rodamientos de rodillo 1 1/2"	Grasera	12	Grasa multipropósito NLGI 2	trimestral/relleno
Mesa Rotatoria	Barra empujadora	Grasera	1	Grasa multipropósito NLGI 2	trimestral/relleno
	Rodillos ajustables	Grasera	4	Grasa multipropósito NLGI 2	trimestral/relleno
	Rodamientos de bola (sistema de transmisión)	Grasera	2	Grasa multipropósito NLGI 2	trimestral/relleno
	Cadenas (sistema de transmisión)	Aerosol	3	Aceite SAE 40	trimestral/relleno
	Rodamientos axiales	Grasera	2	Grasa multipropósito NLGI 2	trimestral/relleno

Tabla A.4. Inventario de Lubricación: Sistema de Transporte de Paletas

Llenas.Fuente. Mercado A. Iván, 2008

APENDICE B

**PLAN DE MANTENIMIENTO SISTEMA DE
TRANSPORTE DE PALETAS LLENAS.**

Rutina de Mantenimiento Preventivo.
Sistema de Transporte de Paletas Llenas.
Mensual.

- 1 Inspeccionar y/o corregir fugas de aceite o grasa en las transmisiones, motores, graseras u otros puntos susceptibles a fugas de lubricante.
- 2 Lubrique todos los rodamientos del sistema.
- 3 Lubrique en sus 3 puntos la barra empujadora de la mesa rotatoria.
- 4 Lubrique los 4 rodillos ajustables de la mesa rotatoria.
- 5 Elimine cualquier suciedad presente en el sistema (pedazos de de vidrio, papeles, etc)

Trimestral.

- 1 Chequee el nivel de aceite de todos los reductores del sistema. Agregue de ser necesario.
- 2 Chequee la condición de las cadenas transportadoras y de los rodillos

APENDICE C

PONDERACION DE LAS ALTERNATIVAS DE
SOLUCION

C. Ponderación de las alternativas de solución.

En la tabla 4.10 se muestran la ponderación final de las alternativas de solución, que surge de multiplicar los valores de la tabla 4.6 y los de la tabla 4.9.

$$\text{Solucion 1} = 6*1 + 5*2 + 5*3 + 5*4 + 6*5 + 6*6 = 117.$$

$$\text{Solucion 2} = 4*1 + 5*2 + 5*3 + 4*4 + 5*5 + 5*6 = 100.$$

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que la solución que se desarrollara para el sistema de lubricación del Transfer Car es la alternativa Nro 1, por lo tanto ahora se procederá a estudiar dicha alternativa y ha determinar todos aquellos factores que incidan en la factibilidad de la misma

APENDICE D
ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LAS GRASAS
SELECCIONADAS.

D.1. Especificaciones Técnicas de las grasas seleccionadas

Venolit MP (Industrias Venoco, 2008)

Grasas lubricantes / Multipropósito

Grasa de servicio múltiple, producto con marca Norven

Descripción:

Es una grasa lubricante para servicio múltiple en aplicaciones industriales y automotrices. Es fabricada con jabón de litio y aceites minerales altamente refinados.



Propiedades y características:

- Excelentes propiedades lubricantes en un rango de temperaturas desde -10 a 120°C (14 a 248°F), pudiéndose utilizar hasta 150°C (320°F) con períodos frecuentes de re lubricación.
- Posee una excelente estabilidad mecánica.
- Protege las superficies metálicas de corrosión y herrumbre.
- Posee buena resistencia al arrastre por agua y a la oxidación.

Aplicaciones:

Se utiliza en la lubricación de:

- Rodamientos de bolas, rolines o agujas.

Chumaceras.

Acoples.

Cabezales.

Ejes rotatorios.

Crucetas o juntas universales y otros.

Consistencia NLGI	1	2	3
Penetración trabajada, mm/10	325	280	235
Punto de gota, °C	185	190	190
Oxidación, Kpa (psi)	68(10)	68(10)	68(10)
Estabilidad mecánica a 10.000 golpes, %	7	7	7

Aceite Base

Viscosidad a 40°C, cSt	170	170	170
Viscosidad a 100°C, cSt	16	16	16

Tabla D.1 Características típicas de la grasa Venolit MP.

Fuente. Industrias Venoco, 2008

Shell Alvania® Grease EP (LF)

Grasa industrial multipropósito con aditivos extrema presión



Características típicas

Shell Alvania® Grease EP (LF)	Método de Prueba	00	0	1	2	3
Consistencia NLGI		00	0	1	2	3
Espesante		Litio	Litio	Litio	Litio	Litio
Aceite base		Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral
Viscosidad Cinemática @ 40°C cSt 100°C cSt	-D445	189 15.6	189 15.6	189 15.6	189 15.6	189 15.6
Punto de gota, °C	IP 132	-	-	180	180	180
Penetración Trabajada @ 25°C 0.1mm	D217	400-480	355-385	310-340	265-295	220-250

Tabla D.2. Características típicas de la grasa Shell Alvania.

Fuente. Shell, 2008

APENDICE E

CÁLCULO DE LOS SISTEMAS DE LUBRICACION

E.1. Calculo de los caudales requeridos.

E.1.1. Transfer Car.

- **Rodamientos de bola 2-1/2". Serie SP – 40.**

Cantidad de grasa requerida.

$$masa\ 1 = 42,52428\ g\ c/u$$

- **Rodamientos de aguja 1-1/4". Serie RFB – 104.**

Cantidad de grasa requerida.

$$masa\ 2 = 2,8349\ g\ c/u$$

- **Rodamientos Torrington de aguja 1-7/8". IKO BR202B16.**

Cantidad de grasa requerida. Utilizando la ecuación 2.16

$$masa\ 3 = 6,048375\ g\ c/u$$

Este valor de la cantidad de grasa es el recomendado según el fabricante para un intervalo de re lubricación semanal.

El diseño de los sistemas de lubricación centralizados se hace para garantizar pequeñas cantidades de lubricante y mayores intervalos de re lubricación, de manera tal que se realizó el cálculo de la cantidad diaria requerida por el rodamiento y

utilizando como restricción que el tiempo de lubricación por ciclo no debe exceder los 5 min.

$$masa\ 1 = \frac{42,52428g}{7dias} = 6,0748 \frac{g}{dia}$$

$$\dot{m}1 = \frac{6,0748g}{5\ min} = 1,21496 \frac{g}{min}$$

$$Qdist3 - 5 = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{1,21496 \frac{g}{min}}{0,9 \frac{g}{cm^3}} = 1,34995 \frac{cm^3}{min}$$

$$masa\ 2 = \frac{2,8349g}{7dias} = 0,40 \frac{g}{dia}$$

$$\dot{m}2 = \frac{0,40g}{5\ min} = 0,08 \frac{g}{min}$$

$$Qdist2 - 13 = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{0,08 \frac{g}{min}}{0,9 \frac{g}{cm^3}} = 0,089 \frac{cm^3}{min}$$

$$masa\ 3 = \frac{6,0483g}{7dias} = 0,86 \frac{g}{dia}$$

$$\dot{m}3 = \frac{0,86g}{5\ min} = 0,17 \frac{g}{min}$$

$$Qdist4 - 1 = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{0,17 \frac{g}{min}}{0,9 \frac{g}{cm^3}} = 0,1920 \frac{cm^3}{min}$$

El caudal de la línea A se obtiene multiplicando el caudal que va desde el distribuidor 4 hasta el punto 1 (rodamiento Torrington) por 4. Esto por ser 4 rodamientos Torrington.

$$Q_{\text{línea A}} = 0,1920 \text{ cm}^3/\text{min} \times 4 = 0,768 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Se realizó lo mismo con las otras líneas multiplicando por el número de rodamientos que tenga la línea, los resultados se muestran en la tabla 4.28 (a).

E.1.2. Paletizador.

De igual manera que con el transfer Car se procede a calcular los caudales para el paletizador.

Rodamientos de aguja 1 ½” Serie RFB – 104. Malla transportadora del sistema de acumulación de envases.

Cantidad de grasa.

$$\text{masa 1} = 9,0718 \text{ g c/u}$$

Los rodamientos de la malla transportadora del sistema de acumulación de envases, por lo que la cantidad de grasa requerida es la misma para los 8 rodamientos.

Rodamientos de aguja 1 ½” Serie SP – 40. Sistema de transmisión del ascensor.

Cantidad de grasa.

$$\text{masa 2} = 9,0718 \text{ g c/u}$$

Este valor de la cantidad de grasa es el recomendado según el fabricante para un intervalo de re lubricación semanal.

Se realizó el cálculo de la cantidad diaria requerida por el rodamiento y utilizando como restricción que el tiempo de lubricación por ciclo no debe exceder los 5 min

$$masa\ 1 = \frac{9,0718\ g}{7\ dias} = 1,2959\ \frac{g}{dia}$$

$$\dot{m}1 = \frac{1,2959\ g}{5\ min} = 0,2591\ \frac{g}{min}$$

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{0,2591\ g/min}{0,9\ \frac{g}{cm^3}} = 0,2879\ \frac{cm^3}{min}$$

Por ser la misma masa de los rodamientos a lubricar en el paletizador el caudal para todos ellos es el mismo y para obtener el caudal total se multiplica el valor por los 19 puntos de lubricación y el valor es igual a 5,4701 cm³/min.

E.2. Calculo de las perdidas, disponibilidades, regímenes de flujo y altura de maquina.

E.2.1. Transfer Car.

Para determinar el régimen de flujo, se calculo el Número de Reynolds, utilizando la ecuación 2.13.

$$Re = \frac{V \times D \times \rho}{\mu} = \frac{V \times D}{\nu}$$

Tramo 0 – Distribuidor 1. Utilizando la ecuación 2.7 calculamos la velocidad promedio.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{\dot{m}}{\rho \times A} = \frac{12,66\ cm^3/min}{\pi (0,72517\ cm)^2/4} = 30,6523\ cm/min = 5,1087 \times 10^{-3}\ m/s$$

Ahora con la ecuación 2.10 se calcula el Número de Reynolds.

$$Re = 5,1087 \times 10^{-3}\ m/s \frac{(0,0072517\ m)}{0,00017\ m^2/s} = 0,2179$$

Según el Número de Reynolds obtenido podemos decir que el flujo se encuentra en régimen laminar, ahora se calcula el factor de fricción utilizando la ecuación 2.11.

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{0,2179} = 293,7127$$

Calculamos las perdidas con la ecuación 2.7.

$$hf = 293,9638666 \times 1m \times \frac{(5,1087 \times 10^{-3} m/s)^2}{0,0072517m \times 2(9,81m/s^2)} = 5,38202051 \times 10^{-2} m. c. f$$

Tramo Línea A. Utilizando la ecuación 2.7 calculamos la velocidad promedio.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{\dot{m}}{\rho \times A} = \frac{0,1920 \text{ cm}^3/\text{min}}{\pi (0,72517\text{cm})^2/4} = 1,85 \text{ cm}/\text{min}$$

Ahora con la ecuación 2.10 se calcula el Número de Reynolds.

$$Re = 1,85 \text{ cm}/\text{min} \frac{(0,72517 \text{ cm})}{102 \text{ cm}^2/\text{min}} = 0,013$$

Según el Número de Reynolds obtenido podemos decir que el flujo se encuentra en régimen laminar, ahora se calcula el factor de fricción utilizando la ecuación 2.11.

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{0,013} = 4840,85$$

Calculamos las perdidas con la ecuación 2.7.

$$hf = 4840,85 \times 130 \text{ cm} \times \frac{(1,85 \text{ cm}/\text{min})^2}{0,72517\text{cm} \times 2(3531600 \text{ cm}/\text{min}^2)} = 0,4248 \text{ cm. c. f}$$

Se procede de la misma manera con el resto de las líneas y los resultados se muestran en la tabla 4.29 (a).

Para el cálculo de la altura de maquina requerida se realizo un balance de energía a cada una de las líneas por separado, ya que los distribuidores por ser modulares proporcionan salidas independientes de caudal.

Utilizando la ecuación 2.15 tenemos que:

Línea A.

$$H_{maq}(0) = H_1 + hf_{distribuidor1} + hf_{tramo}(0 - dist1) + hf_{tramo}(linea A) + hf_{distribuidor4}$$

La empresa Cirval, fabricante de los distribuidores modulares de grasa utilizados en el diseño recomienda estimar las pérdidas de dicho accesorio en un incremento del 30% de las pérdidas del tramo anterior a él.

$$H_{maq}(0) =$$

$$101,3 \text{ Kpa} + 7 \times 10^{-2} m.c.f \left(8,829 \frac{KN}{m^3} \right) + 5,38 \times 10^{-2} m.c.f \left(8,829 \frac{KN}{m^3} \right) + 0,42 \times 10^{-2} m.c.f \left(8,829 \frac{KN}{m^3} \right) + 0,546 \left(8,829 \frac{KN}{m^3} \right) = 102,4783 \text{ Kpa}$$

Línea B.

$$H_{maq}(0) = H_1 + hf_{distribuidor1} + hf_{tramo}(0 - dist1) + hf_{tramo}(linea B) + hf_{distribuidor3}$$

La empresa Cirval, fabricante de los distribuidores modulares de grasa utilizados en el diseño recomienda estimar las pérdidas de dicho accesorio en un incremento del 30% de las pérdidas del tramo anterior a él.

$$H_{maq}(0) =$$

$$101,3 \text{ Kpa} + 7 \times 10^{-2} m.c.f \left(8,829 \frac{KN}{m^3} \right) + 5,38 \times 10^{-2} m.c.f \left(8,829 \frac{KN}{m^3} \right) + 5,28 \times 10^{-2} m.c.f \left(8,829 \frac{KN}{m^3} \right) + 6,86 \times 10^{-2} \left(8,829 \frac{KN}{m^3} \right) = 103 \text{ Kpa}$$

Línea C.

$$H_{maq}(0) = H1 + hf_{distribuidor1} + hf_{tramo}(0 - dist1) + hf_{tramo}(línea C) + hf_{distribuidor2}$$

$$H_{maq}(0) =$$

$$101,3 \text{ Kpa} + 7 \times 10^{-2} m.c.f \left(8,829 \frac{KN}{m^3} \right) + 5,38 \times 10^{-2} m.c.f \left(8,829 \frac{KN}{m^3} \right) + 0,27 \times 10^{-2} m.c.f \left(8,829 \frac{KN}{m^3} \right) + 0,351 \times 10^{-2} \left(8,829 \frac{KN}{m^3} \right) = 102 \text{ Kpa}$$

La bomba se selecciona tomando en cuenta la línea que proporcione una mayor altura de máquina. La bomba seleccionada es la ECB-EM-1(7)2-A-2 marca Cirval (ver catalogo de la bomba en el apéndice F).

Selección de los distribuidores:

Con el caudal de la bomba seleccionada y el volumen diario de grasa se calculó el tiempo de lubricación:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{63,229 \text{ cm}^3}{11,44 \text{ cm}^3/\text{min}} = 5,527 \text{ min}$$

Como el tiempo de lubricación excede los 5 min establecidos en el criterio de diseño, se colocaron 2 períodos de lubricación diarios de 3 min y 2,5 min respectivamente.

Con el tiempo de lubricación y el caudal de la bomba se calcula el volumen a manejar en cada período de lubricación:

$$V1 = Qt = 3 \text{ min} \times 11,44 \text{ cm}^3/\text{min} = 34,32 \text{ cm}^3 (54,70 \%)$$

$$V2 = Qt = 2,5 \text{ min} \times 11,44 \text{ cm}^3/\text{min} = 28,6 \text{ cm}^3 (45,30 \%)$$

Para la selección de los distribuidores se tomó en cuenta la capacidad de descarga y el número de puntos a lubricar.

Distribuidor 1

1er Período de Lubricación

$$t = 3 \text{ min}$$

Para el 1er período se bombea el 54,70 % del volumen diario

Línea A

$$V_a = 3,84 \text{ cm}^3 \times (0,5470) = 2,100 \text{ cm}^3$$

✓ Módulo: tamaño 5

- ✓ Salida: Tipo S
- ✓ Descarga por ciclo: $0,081 \text{ cm}^3 \times 2 = 0,162 \text{ cm}^3$
- ✓ Volumen por descargar: $2,100 \text{ cm}^3$
- ✓ No De ciclos: $12,962 \approx 13$ ciclos
- ✓ Volumen real descargado: $13 \text{ ciclos} \times 0,162 \text{ cm}^3/\text{ciclo} = 2,106 \text{ cm}^3$

Línea B

- ✓ $V_b = 53,99 \text{ cm}^3 \times (0,5470) = 29,5325 \text{ cm}^3$
- ✓ Módulo: tamaño 10
- ✓ Salida S
- ✓ Descarga por ciclo: $0,163 \text{ cm}^3 \times 2 = 0,326 \text{ cm}^3$
- ✓ Volumen por descargar: $29,5325 \text{ cm}^3$
- ✓ No De ciclos: $90,590 \approx 91$ ciclos
- ✓ Volumen real descargado: $91 \text{ ciclos} \times 0,326 \text{ cm}^3/\text{ciclo} = 29,666 \text{ cm}^3$

Línea C

- ✓ $V_c = 5,39 \text{ cm}^3 \times (0,5470) = 2,9483 \text{ cm}^3$
- ✓ Módulo: tamaño 5
- ✓ Salida S
- ✓ Descarga por ciclo: $0,081 \text{ cm}^3 \times 2 = 0,162 \text{ cm}^3$
- ✓ Volumen por descargar: $2,9483 \text{ cm}^3$
- ✓ No De ciclos: $18,199 \approx 19$ ciclos
- ✓ Volumen real descargado: $19 \text{ ciclos} \times 0,162 \text{ cm}^3/\text{ciclo} = 3,078 \text{ cm}^3$

2do período de lubricación

$t = 2,5 \text{ min}$

Para el 2do período se bombea el otro 45,30 % del volumen

Línea A

$$V_a = 3,84 \text{ cm}^3 \times (0,4530) = 1,73952 \text{ cm}^3$$

Durante el primer período de lubricación se lubricó un excedente de grasa con respecto a la cantidad que se había planteado, esto debido al número exacto de ciclos que se tomó, por esta razón se debe re calcular el volumen real a descargar en el 2do período de lubricación. Esto se re calcula de la misma manera para el resto de las líneas.

Al volumen total diario para la línea A se le resta el total real descargado en el primer período:

- ✓ Volumen real a descargar: $3,84 \text{ cm}^3 - 2,106 \text{ cm}^3 = 1,734 \text{ cm}^3$
- ✓ Módulo: tamaño 5
- ✓ Salida S
- ✓ Descarga por ciclo: $0,081 \text{ cm}^3 \times 2 = 0,162 \text{ cm}^3$
- ✓ No De ciclos: $10,70 \approx 11$ ciclos

Línea B

- ✓ $V_b = 53,99 \text{ cm}^3 \times (0,4530) = 24,45747 \text{ cm}^3$
- ✓ Volumen real a descargar: $53,99 \text{ cm}^3 - 29,666 \text{ cm}^3 = 24,324 \text{ cm}^3$
- ✓ Módulo: tamaño 10
- ✓ Salida S
- ✓ Descarga por ciclo: $0,163 \text{ cm}^3 \times 2 = 0,326 \text{ cm}^3$
- ✓ No De ciclos: $74,613 \approx 75$ ciclos

Línea C

- ✓ $V_c = 5,39 \text{ cm}^3 \times (0,4530) = 2,4416 \text{ cm}^3$
- ✓ Volumen real a descargar: $5,39 \text{ cm}^3 - 3,078 \text{ cm}^3 = 2,312 \text{ cm}^3$
- ✓ Módulo: tamaño 5
- ✓ Salida S
- ✓ Descarga por ciclo: $0,081 \text{ cm}^3 \times 2 = 0,162 \text{ cm}^3$
- ✓ No De ciclos: $14,27 \approx 15$ ciclos

Distribuidor seleccionado MJ3 – 7 – (5S – 10S – 5S)

Distribuidor 2

Línea A volumen por rodamiento = $0,96 \text{ cm}^3$

1er período de lubricación

$$V_a = 2,106 \text{ cm}^3 / 4 = 0,5265 \text{ cm}^3$$

Módulo tamaño: 5

Salida T

Descarga por ciclo: $0,081 \text{ cm}^3$

Volumen por descargar: $0,5265 \text{ cm}^3$

No De ciclos: $6,5 \approx 7$ ciclos

Volumen real descargado: $0,081 \text{ cm}^3 \times 7 \text{ ciclos} = 0,567 \text{ cm}^3$

2do período de lubricación

$V_a = 1,734 \text{ cm}^3 / 4 = 0,4335 \text{ cm}^3$

Al igual que en el otro distribuidor se debe calcular el volumen real del Módulo tomando en cuenta el excedente aportado por el 1er período

Volumen real a descargar: $0,96 \text{ cm}^3 - 0,567 \text{ cm}^3 = 0,393 \text{ cm}^3$

Módulo tamaño: 5

Salida T

Descarga por ciclo: $0,081 \text{ cm}^3$

No De ciclos: $4,85 \approx 5$ ciclos

Distribuidor seleccionado MJ3 – 7 – (5T – 5T – 5T)

Distribuidor 3

Línea B volumen por rodamiento = $6,7497 \text{ cm}^3$

1er período de lubricación

$V_b = 29,666 \text{ cm}^3 / 8 = 3,7082 \text{ cm}^3$

Módulo tamaño: 10

Salida T

Descarga por ciclo: $0,163 \text{ cm}^3$

Volumen por descargar: $3,7082 \text{ cm}^3$

No De ciclos: $22,74 \approx 23$ ciclos

Volumen real descargado: $0,163 \text{ cm}^3 \times 23 \text{ ciclos} = 3,749 \text{ cm}^3$

2do período de lubricación

$V_b = 24,324 \text{ cm}^3 / 8 = 3,0405 \text{ cm}^3$

Volumen real a descargar: $6,7497 \text{ cm}^3 - 3,749 \text{ cm}^3 = 3,0007 \text{ cm}^3$

Módulo tamaño: 10

Salida T

Descarga por ciclo: $0,163 \text{ cm}^3$

No De ciclos: $18,40 \approx 19$ ciclos

Distribuidor seleccionado MJ4 – 7 – (10T – 10T – 10T – 10T)

Distribuidor 4

Línea C volumen por rodamiento = $0,4498 \text{ cm}^3$

1er período de lubricación

$$V_c = 3,078 \text{ cm}^3 / 12 = 0,2565 \text{ cm}^3$$

Módulo tamaño: 5

Salida T

$$\text{Descarga por ciclo: } 0,081 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen por descargar: } 0,2565 \text{ cm}^3$$

$$\text{No De ciclos: } 3,166 \approx 4 \text{ ciclos}$$

$$\text{Volumen real descargado: } 0,081 \text{ cm}^3 \times 4 \text{ ciclos} = 0,324 \text{ cm}^3$$

2do período de lubricación

$$V_c = 2,312 \text{ cm}^3 / 12 = 0,1926 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen real a descargar: } 0,4498 \text{ cm}^3 - 0,324 \text{ cm}^3 = 0,1258 \text{ cm}^3$$

Módulo tamaño: 5

Salida T

$$\text{Descarga por ciclo: } 0,081 \text{ cm}^3$$

$$\text{No De ciclos: } 1,5530 \approx 2 \text{ ciclos}$$

Distribuidor seleccionado MJ6 – 7 – (5T – 5T – 5T – 5T)

Para ver las especificaciones de los distribuidores revisar el apéndice F.

APENDICE F
ESPECIFICACIONES DE LAS BOMBAS Y DISTRIBUIDORES
SELECCIONADOS

F.1. Bomba Eléctrica de Lubricación. (Cirval, 2008)






Estación Central de Bombeo
ECB-EM



Descripción

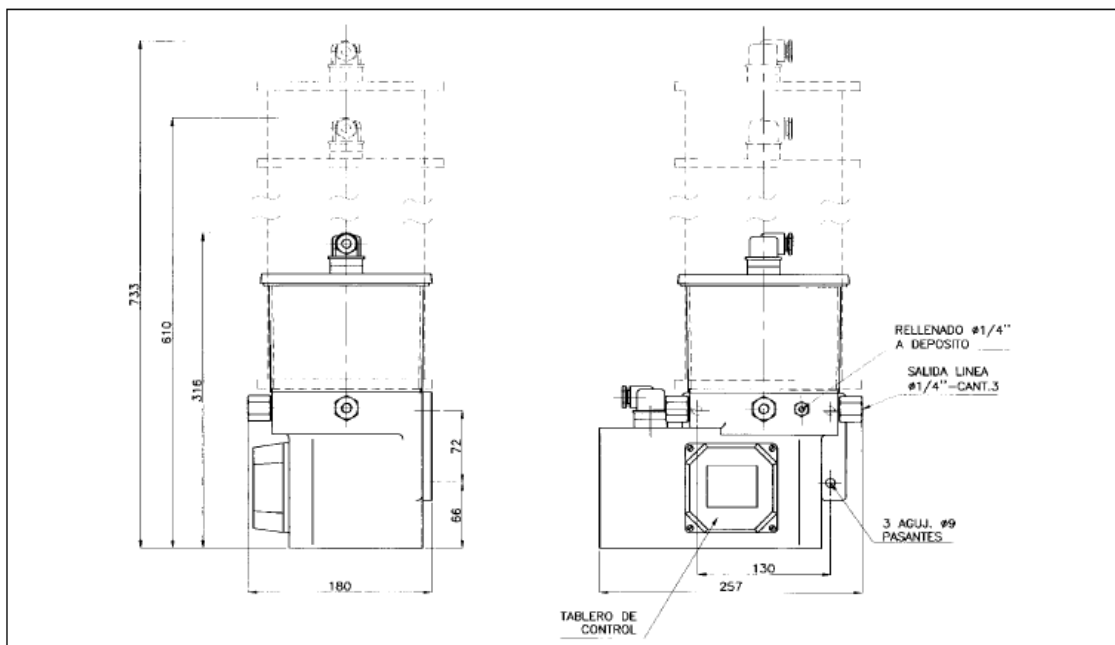
Las estaciones de bombeo Cirval modelo ECB-EM están diseñadas para operar con grasa o aceite en sistemas de simple línea progresiva y también sistema doble línea.

Accionadas por un motor eléctrico de 12 ó 24 volts, éstas bombas poseen conjuntos de pistones de bombeo radiales que se montan de 1 a 3 sobre la carcasa metálica de la bomba, y son accionados a través de un excéntrico.

Depósitos de acrílico para aceite o grasa para distintas capacidades son montados sobre la unidad de bombeo para satisfacer los distintos requerimientos de consumo de lubricante. Estos depósitos además cuentan con indicadores eléctricos de bajo nivel diseñados para operar con aceites lubricantes hasta grasas NLGI 2, estas bombas son recomendadas para instalación en sistemas de lubricación de equipos móviles, viales y máquinas.

Especificaciones

Material Cuerpo	Aluminio fundido		
Elementos bombeantes	de 1 a 3		
Presión máxima oper.	250 bar		
Caudal Bombines Fijo	5 - 5,72 cm³/min. 6 - 8,00 cm³/min. 7 - 11,44 cm³/min.	Tableros de Control	Mod. CC-2000 Mod. CC-2200
Motor	12 ó 24 Volts. - 40 RPM		



Ejemplo de pedido:

Ej. 1: ECB-EM-3(6-7-6)7-A-2

Se trata de una estación central de bombeo ECB-EM con motor de accionamiento de 24 Volts, 2 bombines de característica 6 y 1 bombín de característica 7 y depósito de 7 Kg. de grasa.

Ej. 2: ECB-EM-2(6-5)5-A-2

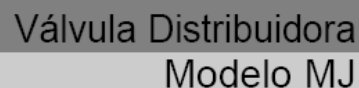
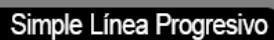
Se trata de una estación central de bombeo ECB-EM con motor de accionamiento de 24 Volts, 1 bombín de característica 6, 1 bombín de característica 5 y depósito de 5 Kg. de grasa.

Código de Requerimiento

ECB-EM	(- -)			
Cant. Bombines	Caudal Bombines	Capac. Dep. Lubric.	Lubricante	
1 Bombin	1	5,72 cm³/min.	5	2 Kg/2 Lts.
2 Bombines	2	8,00 cm³/min.	6	5 Kg/5 Lts.
3 Bombines	3	11,44 cm³/min.	7	7 Kg/7 Lts.
Código de Requerimiento kit STD de reparación				
				12 Vcc 1
				24 Vcc 2

EM-3130-R

F.2. Distribuidor Modular de grasa. (Cirval, 2008)



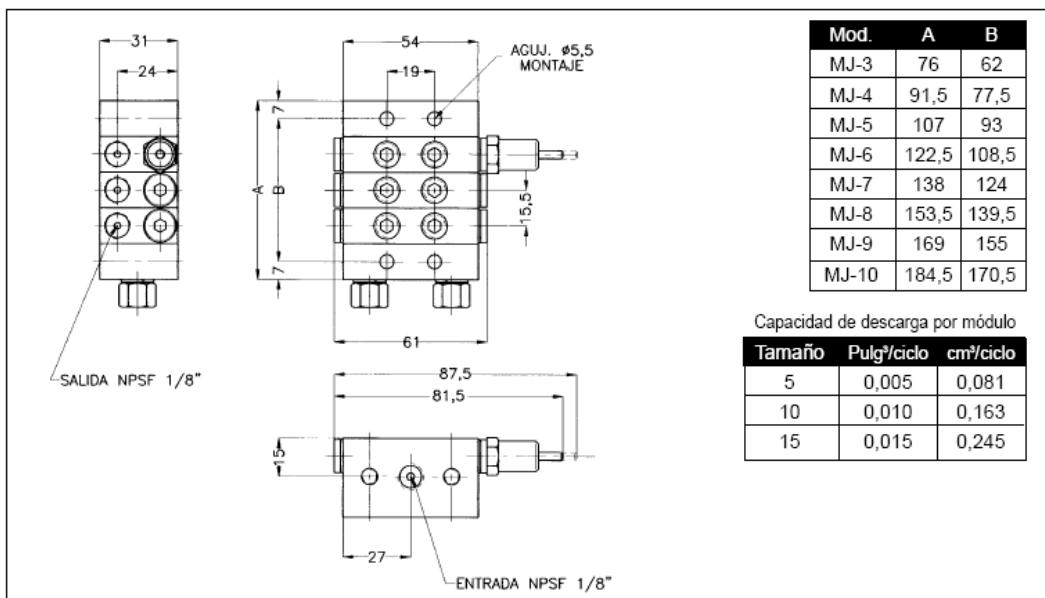
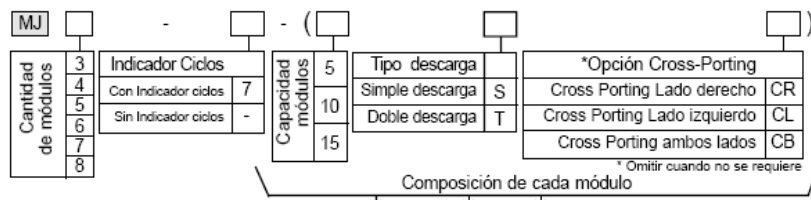
Un conjunto típico de válvula distribuidora MJ está compuesto por un módulo de entrada o tapa, un módulo final o base y de 3 a 10 módulos o secciones intermedias. Un conjunto de válvula distribuidora puede alimentar hasta un máximo de 20 puntos de lubricación.

Las secciones de válvulas intermedias cuentan con distintas capacidades de descarga. Cada sección o módulo indicado como "T" tiene 2 salidas de descarga, una de cada lado del módulo. Cada sección o módulo indicado como "S" tiene una sola salida, mientras que la otra deberá ser taponada para que la válvula funcione correctamente, duplicando la capacidad de descarga en dicha salida.

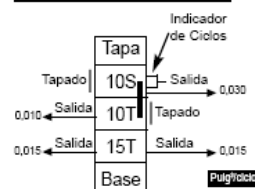
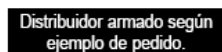
Estás válv. distr. cuentan además con accesorios de complemento como indicadores de ciclos de funcionamiento, fusibles de ruptura y presostatos utilizados para monitorizar y controlar su funcionamiento. El extremado ajuste entre el pistón y camisa aseguran una precisa dosificación de lubricante a altas presiones de funcionamiento del sistema.

Especificaciones

Material	Acero (zincado)	Temp. máx. operación	80 °C
Presión máxima	110 bar	Ciclaje Máximo	150 ciclos/minuto
Lubricante	Aceites o grasas hasta grado NLGI 2		

**Código de Requerimiento**

Ejemplo de pedido: MJ3 - 7 - (10 SCR - 10 T - 15 T)



APENDICE G
CÁLCULOS DE CONFIABILIDAD

G.1 Cálculos de la Confiabilidad Actual de los Sistemas de Lubricación

- Transfer Car.

Calculo tipo de la rata de falla del transfer Car. Utilizando la ecuación 2.17 tenemos que:

$$\alpha = \frac{15}{8760 \text{ Hrs}} = 1,7123 \times 10^{-3} \frac{\text{fallas}}{\text{hrs}}$$

n	Fecha	Sección	Descripción de la falla
1	01/05/2008	Pista y guía del piso	Rodamientos dañados
2	30/04/2008	Sistema motriz	Chumacera del eje principal dañada
3	20/04/2008	Sistema motriz	Rodamiento de la rueda loca dañado
4	11/04/2008	Sistema motriz	Chumacera del eje principal dañada
5	14/03/2008	Transportador	Guías de la cadena desgastadas
6	10/03/2008	Pista y guía del piso	Rodamiento trancado
7	05/02/2008	Transportador	cadena reventada
8	07/01/2007	Pista y guía del piso	Rodamientos desgastados
9	31/12/2007	Sistema motriz	Eje principal desgastado
10	06/11/2007	Pista y guía del piso	Rodamientos desgastados
11	08/10/2007	Pista y guía del piso	Rodamientos desgastados
12	11/09/2007	Transportador	Rodamientos de piñones locos desgastados
13	03/08/2007	Pista y guía del piso	Rodamientos dañados
14	04/07/2007	Sistema motriz	Chumacera del eje principal trancada
15	01/06/2007	Pisador de paletas	Cremallera desgastada

Tabla.G.1 Registro de fallas Transfer Car.

Fuente. Owens Illinois Planta Los Guayos.

Por lo tanto la confiabilidad para el primer mes utilizando la ecuación 2.18 es:

$$r(t) = e^{-1,7123 \times 10^{-3}(720)} = 0,2914$$

En la tabla G.2 y la figura G.1 se muestran los resultados de confiabilidad para el transfer car.

R(t)	Mes
29,14	1
8,49	2
2,47	3
0,72	4
0,21	5
0,06	6
0,017	7
0,0052	8
0,0015	9
0,00044	10
0,00012	11
0,000037	12

Tabla G.2 Confiabilidad del transfer car.

Fuente: Mercado A. Iván, 2008

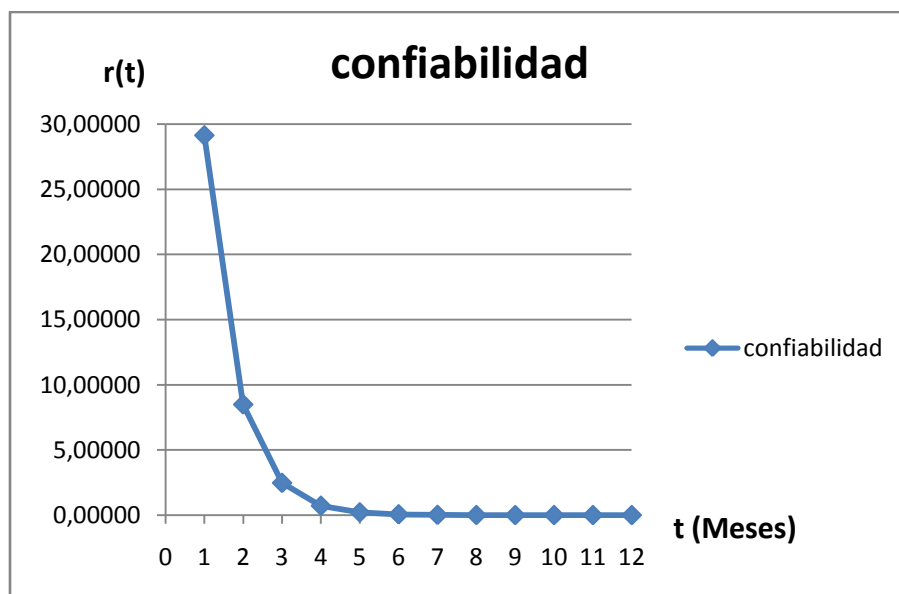


Figura G.1. Curva de Confiabilidad del transfer Car.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008

De los valores anteriores se puede evidenciar que los valores de confiabilidad a lo largo del periodo disminuyen aceleradamente, y su tendencia a ser cero se puede observar en la gráfica G.1.

Paletizador:

n	Fecha	Sección	Descripción de la falla
1	18/05/2007	Sistema de transmisión ascensor	Rodamientos del eje desgastados
2	20/06/2007	Sistema de acumulación de envases	Rodamientos de la malla larga desgastados
3	15/08/2007	Sistema de acumulación de envases	Rodamientos de la malla larga desgastados
4	20/01/2008	Sistema de transmisión ascensor	Rodamientos del eje desgastados
5	16/03/2008	Sistema de acumulación de envases	Rodamientos de malla corta desgastados

Tabla. G.3 Registro de fallas Paletizador.

Fuente. Owens Illinois Planta Los Guayos.

$$\alpha = \frac{5}{8760 \text{ hrs}} = 5,7077 \times 10^{-4} \text{ fallas/hrs}$$

A continuación con un procedimiento similar se obtiene la confiabilidad del resto de los equipos y los resultados para el paletizador se muestran en la tabla G.4

R(t)	Mes
66,30	1
43,95	2
29,14	3
19,32	4
12,81	5
8,49	6
5,63	7
3,73	8
2,47	9
1,64	10
1,08	11
0,72	12

Tabla G.4 Confiabilidad del Paletizador.

Fuente: Mercado A. Iván, 2008.

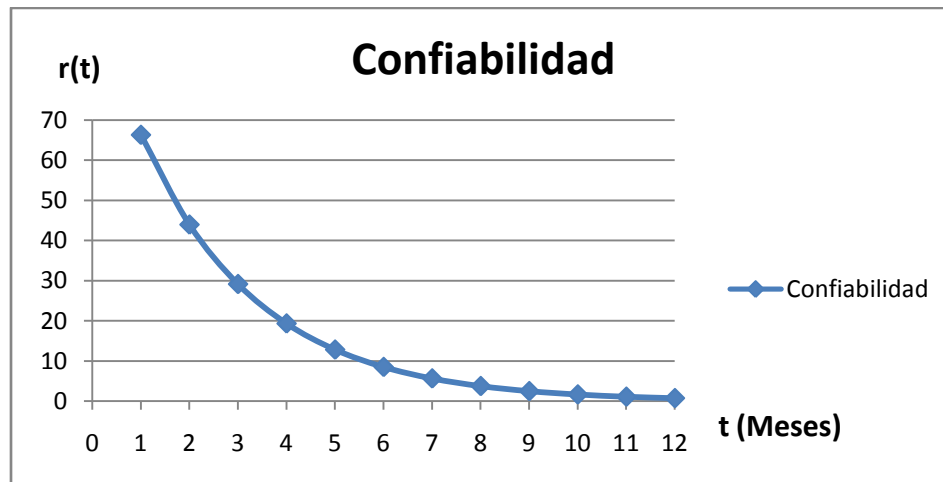


Figura G.2 Curva de confiabilidad del paletizador.

Fuente: Mercado A. Iván, 2008

- Máquina Flejadora.

n	Fecha	Sección	Descripción de la falla
1	03/07/2007	Cabezal	Rodamientos de las guías del carro desgastados
2	04/03/2008	Vibrador	Rodamiento excéntrico del vibrador

Tabla.G.5 Registro de fallas Máquina Flejadora

Fuente. Owens Illinois Planta Los Guayos.

$$\alpha = \frac{2}{8760} = 2,2831 \times 10^{-4} \text{ fallas/hrs}$$

Mes	r(t)
1	84,84
2	71,98
3	61,06
4	51,81
5	43,95
6	37,29
7	31,64
8	26,84
9	22,77
10	19,32
11	16,39
12	13,90

Tabla.G.6 Confiabilidad de la Máquina Flejadora.

Fuente: Mercado A. Iván, 2008

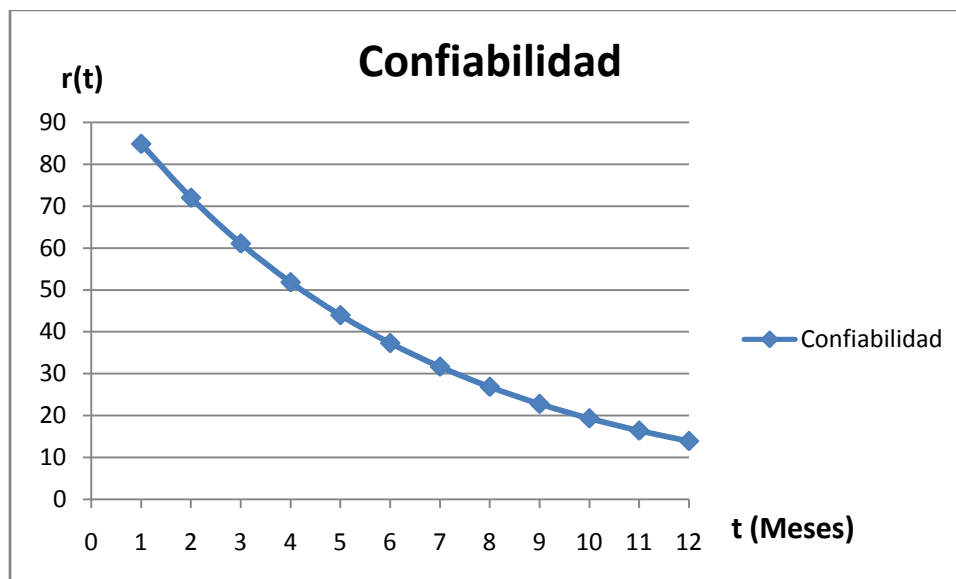


Figura.G.3 Curva de confiabilidad Máquina Flejadora.

Fuente: Mercado A. Ivan, 2008.

- Sistema de Transporte de paletas llenas.

n	Fecha	Sección	Descripción de la falla
1	03/06/2007	Transportadores	Rodamientos desgastados
2	21/08/2007	Mesa rotatoria	Barra empujadora parada
3	30/10/2007	Mesa rotatoria	Rodamientos del eje de transmisión desgastado
4	20/02/2008	Transportadores	Rodamientos desgastados
5	02/04/2008	Mesa rotatoria	Rodamientos axiales desgastados
6	16/05/2008	Mesa rotatoria	Rodamientos del eje de transmisión desgastado

Tabla.G.7 Registro de fallas del sistema de transporte de paletas llenas.

Fuente. Owens Illinois Planta Los Guayos.

$$\alpha = \frac{6}{8760} = 6,8493 \times 10^{-4} \frac{\text{fallas}}{\text{hrs}}$$

Mes	r(t)
1	61,06
2	37,29
3	22,77
4	13,9
5	8,49
6	5,18
7	3,16
8	1,93
9	1,18
10	0,72
11	0,4
12	0,26

Tabla.G.8 Confiabilidad del sistema Transp. de paletas.

Fuente: Mercado A. Iván, 2008.

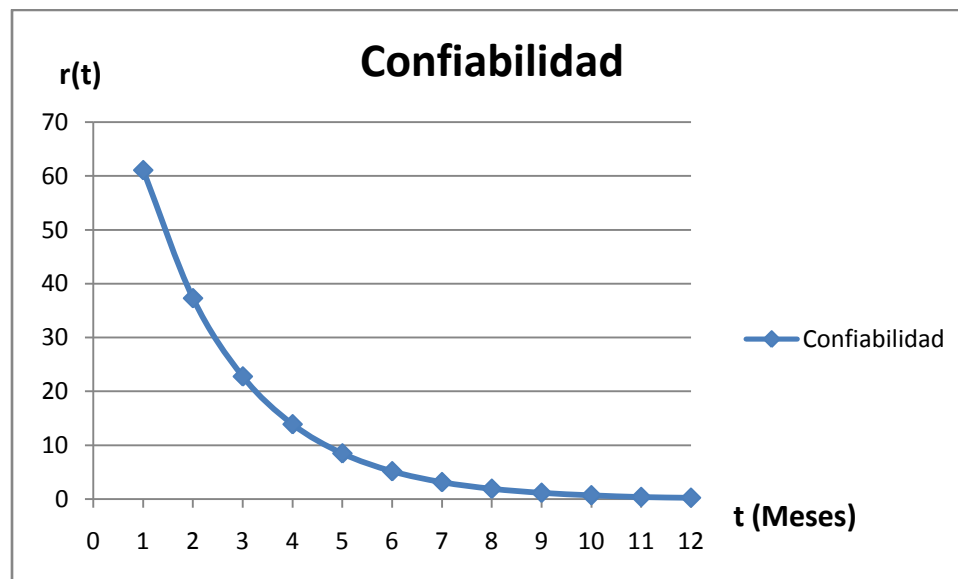


Figura. G.4 Curva de confiabilidad del sistema de transp. de paletas llenas.

Fuente: Mercado A. Iván, 2008.

- Máquina Envolvedora.

La máquina Envolvedora no presentó fallas en el periodo de estudio, lo que indica que su confiabilidad es de 100 %.

G.2. Analisis de Modo y Efecto de Fallas.

Equipo: Sistema de lubricación Transfer Car y Paletizador			Realizado por: Iván Mercado
Área: Zona Fría			Fecha:
Ubicación: Área de Paletizadores			Septiembre 2008
Conjunto	Función	Modo de Falla	Efecto de Falla
Bomba Eléctrica de lubricación	Bombear la cantidad de lubricante	Motor de la bomba no arranca	La bomba no arranca, no funciona, no comienza su ciclo
	necesaria para satisfacer las exigencias del sistema	Pistón trancado	No llega lubricante a los puntos destinados
Distribuidor Modular de grasa	Distribuir la cantidad exacta de lubricante	Pistones trancados	No llega lubricante a los puntos destinados
	enviado por la bomba hacia los puntos de lubricación	Salidas obstruidas	Disminución en la cantidad de lubricante que llega a los puntos de lubricación

Tabla G.9. Análisis de Modo y Efecto de Fallas. Sistema de Lubricación.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008

G.2.2 Confiabilidad del Sistema diseñado.

Luego de realizar el AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Fallas), con las posibles fallas que se puedan presentar en el sistema diseñado se consultó con el personal de mantenimiento y/o representantes legales de empresas fabricantes de sistemas de Lubricación como Cirval y Lincoln, acerca del número estimado de fallas que se espera obtener en un periodo de 1 año.

De una entrevista hecha al Ing. Fernando Lotero, Asesor Técnico de la empresa Hidrostatica de Venezuela (Teléfono: 02418326550, ubicada en la zona industrial norte Av. Prolongación Michelena), representante legal de la marca Cirval en Venezuela, empresa encargada de la fabricación de equipos de lubricación centralizada, se obtuvo que el numero de fallas que se estima para un sistema de lubricación centralizada utilizando equipos Cirval es de 1 falla aproximadamente el primer año por probables problemas eléctricos, como fallo del motor o algún detalle con el controlador de la bomba, además la empresa cuenta con un año de garantía para sus equipos lo cual garantiza que en el periodo de estudio los problemas por fallas técnicas sean absorbidos por el fabricante.

Con esta información y la reflejada en el AMEF podemos estimar una confiabilidad para el sistema diseñado.

Se calcula la rata de fallas estimando una falla en el periodo de 1 año

$$\alpha = \frac{1}{8760 \text{ Hrs}} = 1,14 \times 10^{-4} \frac{\text{fallas}}{\text{hrs}}$$

Luego se calcula la confiabilidad para el primer mes

$$r(t) = e^{-1,14 \times 10^{-4} (720)} = 0,9211$$

Se realiza lo mismo para el resto de los meses los resultados se muestran en la tabla G.1

R(t)	Mes
92,11	1
84,86	2
78,17	3
72,01	4
66,33	5
61,11	6
56,29	7
51,85	8
47,77	9
44	10
40,54	11
37,34	12

Tabla G.10. Valores de confiabilidad para el sistema de Lubricación.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008

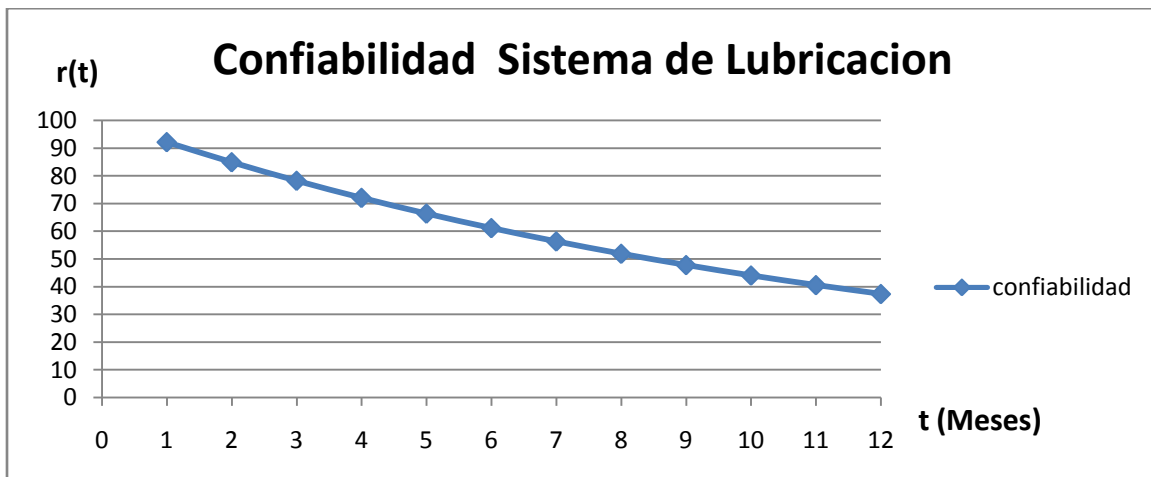


Fig. G.5. Valores de confiabilidad para el sistema de Lubricación.

Fuente. Mercado A. Iván, 2008

APENDICE H
COSTO DE LOS MATERIALES

H. Costo de los Materiales.

H.1 Tubería de Cobre 3/8”.

[4111] - Consultas del Kardex

Funciones Opciones Herramientas Ayuda

Trans/desde *
 Libro mayor de artículo Trans/hasta *
 Tipo de docume *
 Tipo de documento del L

Nº del artículo ACR-06 TUBO D/COBRE 3/8" 15MTS
 Sucursal/Planta 102MAT Almacén de Materiales-Owens
 Ubicación *
 Lote/serie * Cant en existenc RL
 Valor

0	Docum	Tp	Trans	Sucur/Planta	Cantidad	UM	Costo unitar	Costo total
5	9854	FI	01/11/03	102MAT	1,000-	RL	39,9750	39,98-
	262024	IY	22/09/03	102MAT	2,000-	RL	39,9750	79,95-
	261876	IY	18/09/03	102MAT	1,000-	RL	39,9750	39,98-
	2009051	OT	21/08/03	102MAT	3,000	RL	42,2000	126,60
	258563	IY	20/06/03	102MAT	1,000-	RL	33,3000	33,30-
	2004960	OT	28/05/03	102MAT	2,000	RL	33,3000	66,60
	255873	IY	16/04/03	102MAT	1,000-	RL	22,1940	22,19-
	255067	IY	28/03/03	102MAT	1,000-	RL	22,1940	22,19-
	162	PI	26/03/03	102MAT	2,000-	RL	22,1940	44,39-
	1020261	OT	20/11/02	102MAT	2,000	RL	24,4000	48,80
	190637	IY	11/11/02	102MAT	2,000-	RL	19,9880	39,98-

✓ ✗

Opc: 5=Detalles F5=Búsq de art F10=L/M/Saldo actual F24=Más teclas MW

Fig. H.1 Costo de la Tubería de Cobre.

Fuente. Owens Illinois de Venezuela.

H.2 Lámina de ¼" Hierro Negro.

[4111] - Consultas del Kardex

Funciones Opciones Herramientas Ayuda

Trans/desde *

Libro mayor de artículo Trans/hasta *

Tipo de docume *

Tipo de documento del L

Nº del artículo LAMINA-1/4-HN LAMINA HN. 1/4" X 1.20 X

Sucursal/Planta 102MAT Almacen de Materiales-Owens

Ubicación *

Lote/serie *

Cant en existenc UN

Valor

0	Docum	Tp	Trans	Sucur/Planta	Cantidad	UM	Costo unitar	Costo total
5	5185643	IY	02/11/05	102MAT	4,000-	UN	227,4000	909,60-
	3003383	OT	20/02/04	102MAT	4,000	UN	227,4000	909,60
	9825	FI	01/11/03	102MAT	4,000-	UN	109,4285	437,71-
	260978	IY	21/08/03	102MAT	1,000-	UN	109,4285	109,43-
	258374	IY	17/06/03	102MAT	3,000-	UN	109,4285	328,29-
	257727	IY	02/06/03	102MAT	3,000-	UN	109,4285	328,29-
	255230	IY	02/04/03	102MAT	1,000-	UN	109,4285	109,43-
	158	PI	20/03/03	102MAT	5,000	UN	109,4285	547,14
	1020136	OT	19/11/02	102MAT	4,000	UN	107,8900	431,56
	1018599	OT	28/10/02	102MAT	3,000	UN	111,4800	334,44
	189185	IY	08/10/02	102MAT	6,000-	UN	108,6813	652,09-

Opc: 5=Detalles F5=Búsq de art F10=L/M/Saldo actual F24=Más teclas MW

Fig. H.2 Costo Lamina de ¼" Hierro Negro.

Fuente. Owens Illinois de Venezuela.

CONCLUSIONES.

El sistema diseñado es rentable ya que produce un Beneficio neto de 593394,9 BsF, lo cual representa una ganancia mayor que la obtenida por los ingresos netos de la situación actual

Las soluciones planteadas en conjunto mejoran el cumplimiento del mantenimiento preventivo planificado por la planta aumentando la confiabilidad del proceso de lubricación a un 92 % y optimizando las condiciones de operación de las máquinas.

Los sistemas de lubricación centralizados permiten mantener los equipos operando de manera continua, mediante la dosificación automática y precisa de lubricante; de manera tal que alarga la vida útil de los componentes en contacto y además, elimina al personal de mantenimiento mecánico el riesgo de trabajar en condiciones inseguras.

El estudio de Lubricación, permite demostrar que existe un consumo en exceso de lubricante, utilizado en los equipos del área de empaque y paletizado de 0,65 Kg de grasa semanales, lo cual se traduce en un costo adicional para la Planta de 3200 BsF al año.

RECOMENDACIONES.

- Se recomienda la fabricación e instalación de los sistemas propuestos, de acuerdo con la demostración de aumento de confiabilidad y beneficios netos para la empresa.
- Se recomienda para trabajos a futuro (pasantía, tesis, etc) diseñar e implementar planes de Mantenimiento, que me permitan garantizar un optimo funcionamiento de los equipos a instalar.
- La selección del lubricante se realizó mediante las condiciones de operación de los equipos y datos teóricos; sin embargo, se recomienda una vez puesto en marcha los sistemas de lubricación inspeccionar las características de lubricante y el funcionamiento de las partes a lubricar.
- La red de tuberías fue diseñada por debajo de la superficie de la máquina ya que era la opción más conveniente, debido a las condiciones geométricas de la máquina; Se recomienda realizar inspección periódica en busca de fugas de lubricante ya que dicha tubería no se encuentra visible, así como a la hora del mantenimiento de la máquina a lubricar revisar en lo posible conexiones y tuberías.
- Se recomienda la implementación del estudio de lubricación realizado, con el cual se garantiza el uso correcto del lubricante y buenas prácticas de mantenimiento
- Se recomienda realizar entrenamiento básico al personal de mantenimiento, sobre la operación, programación y manipulación de los equipos centralizados de lubricación, con la finalidad de minimizar el riesgo de falla por error humano, así como también adiestramiento en el uso, aplicación y disposicion de lubricantes industriales

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Avallone, Eugene (1995). Manual del Ingeniero Mecánico (3ra Edición). México: McGraw Hill.
- Bustamante Carlos y Vequiz Kessla (2006). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para una máquina de temple (Quench & Temper).
- Cirval (2008). Sistemas de Lubricación Centralizados. [En red].
Disponible: www.cirval.com Fecha de consulta (20/3/2008)
- Crane (1992). Flujo de fluido en válvulas, accesorios y tuberías. División de ingeniería de Crane. México D.F. McGraw Hill.
- Felkai Sandor (1987). Sistemas de Lubricación. Maraven en la Industria. Boletín Técnico No 12. Maraven filial de Petróleos de Venezuela
- Hernandez Rafael y Landaeta Wilma (2000). Diseño de un sistema automático de lubricación central para la línea de clavería de una planta procesadora de alambión.
- Industrysearch (2008). Sistema de Línea Simple. [En red].
Disponible en: www.industrysearch.com Fecha de consulta (10/6/2008)
- Skdstar (2008). Lubricación centralizada. [En red].
Disponible en: www.skdstar.com Fecha de consulta (15/6/2008)
- SKF (2008). Lubricación por neblina. [En red].
Disponible en: www.skf.com/products/lubricant. Fecha de consulta (14/4/2008)
- SKF (1996). Manual de Mantenimiento de rodamientos.

- Morillo Aurora y Artigas Víctor. (1980). Diseño y construcción de un equipo para laboratorio de lubricación.
- Mott Robert (1996). Mecánica de los fluidos aplicada (4ta edición). México D.F: Prentice May Hispanoamérica.
- Nava José Domingo (2004). Teoría de Mantenimiento Fiabilidad. Formas Graficas Quintero. Mérida.
- Ehgriffith (2008). Grease Gun. [En red].
Disponible en: <http://catalog.ehgriffith.com/images/greasegun>. Fecha de consulta (2/5/2008)
- Rexnord (2008) Quality Chains. [En red].
Disponible en: www.rexnord.com Fecha de consulta (10/5/2008)
- Sampieri (2006). Metodología de la Investigación (7ma Edición). México D.F. McGraw Hill.
- Sealmaster (2005). Roller and Ball bearings units, (Manual de Mantenimiento).
- Shell (2008). Grasa Shell Alvania [En red].
Disponible: www.shellalvania.com Fecha de consulta (20/7/2008)
- Lubricar (2008). Teoría de la Lubricación. [En red].
Disponible en: www.lubricar.net/teoria Fecha de consulta (2/2/2008)
- Valles, Luis (2001). Ingeniería de la Confiabilidad. Universidad de Carabobo
- Venoco (2008). Grasa Venolit MP. [En red].
Disponible en: www.venoco.com Fecha de consulta (20/7/2008)

