



**Elaboración del plan de lubricación de la nueva planta de reciclaje PET de la empresa
ENKA DE COLOMBIA S.A**

Richard Esneyder Cardona Zuluaga

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico

Asesor

Sebastián López Gómez

Ingeniero Mecánico

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Medellín, Antioquia.

2023

Cita

(Cardona Zuluaga, 2023)

Referencia

Cardona Zuluaga, R. (2023). *Elaboración del plan de lubricación de la nueva planta de reciclaje PET de la empresa ENKA DE COLOMBIA S.* [Trabajo de grado]. Universidad de Antioquia, Medellín.

Estilo APA 7 (2020)



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Pedro León Simanca

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen	8
Abstract	10
Introducción	12
1 Objetivos	14
1.1 Objetivo general	14
1.2 Objetivos específicos	14
2 Marco teórico	15
2.1 Método implementado	15
3 Metodología	17
3.1 Reconocimiento de los equipos	17
3.2 Lubricación según el fabricante.	27
3.3 Extracción de información de rodamientos	28
3.4 Estudio de grasas.	30
3.5 Lubricación a partir de la experiencia.	32
3.6 Cartas de lubricación.	33
4 Resultados	40
6 Conclusiones	51
Referencias	52

Lista de tablas

Tabla 1	Definición de la primera letra de codificación	34
Tabla 2	Definición de la segunda letra de codificación	34
Tabla 3	Definición del grado de consistencia y del cuarto carácter para la codificación	35
Tabla 4	Definición del cuarto carácter para la codificación.....	35
Tabla 5	Definición del número de codificación	36
Tabla 6	Definición del tipo de espesante de las grasas	37
Tabla 7	Grado de consistencia del lubricante.....	37
Tabla 8	Definición del tipo de aceite base para el lubricante.....	38
Tabla 9	Clasificación del aceite base para el lubricante.....	38
Tabla 10	Cantidad de grasa y frecuencia de relubricación según NORIA para algunos rodamientos	40
Tabla 11	Algunos rodamientos para lubricar mensualmente	41
Tabla 12	Algunos rodamientos para lubricar cada dos semanas.....	43
Tabla 13	Algunos rodamientos para lubricar cada semana.....	45
Tabla 14	Algunos equipos a realizar el estudio de lubricación por lubricación inadecuada.....	46
Tabla 15	Viscosidades requeridas por la maquinaria según el estudio de lubricación	49

Lista de figuras

Figura 1 Línea de prelavado, Banda alimentadora de botellas	17
Figura 2 Línea de prelavado, Abridor de pacas	18
Figura 3 Línea de prelavado, Centrífuga prelavadora de botellas	18
Figura 4 Línea de clasificación, Banda de aceleración	19
Figura 5 Línea de clasificación, Banda de clasificación manual	19
Figura 6 Línea de clasificación, Banda de alimentación de molinos	20
Figura 7 Línea de molienda, Molino norte y sur.....	20
Figura 8 Línea de molienda, Lavadora centrífuga molino norte y sur.....	21
Figura 9 Línea de molienda, Soplador centrífugo molino norte y sur	21
Figura 10 Línea de lavado, Microfiltro	22
Figura 11 Línea de lavado, Tornillos de extracción silo buffer	22
Figura 12 Línea de lavado, Tornillo de entrega a reactores por baches.....	23
Figura 13 Línea de lavado, Reactor por baches	23
Figura 14 Línea de lavado, Secador centrífugo	24
Figura 15 Línea de lavado, Tanque de separación.....	24
Figura 16 Línea de granulación, Silo de mezcla	25
Figura 17 Línea de granulación, Silo de calidad.....	25
Figura 18 Línea de granulación, válvula rotativa.....	26
Figura 19 Línea de granulación, Tornillo sin fin	26
Figura 20 Línea de granulación, Ventilador	26
Figura 21 Evidencia del programa de lubricación en el software - AM -.....	28
Figura 22 Grados de viscosidad según temperatura y viscosidad de la grasa.....	31
Figura 23 Cálculo viscosidad nominal.....	31

Figura 24 Lbrucadores automáticos System 24 de SKF.	33
Figura 25 Codificación del lubricante según la norma DIN 51502	34
Figura 26 Codificación del lubricante según norma ISO 6743	36
Figura 27 Color identificador del lubricante según su grado de viscosidad	38
Figura 28 Carta de lubricación para la banda alimentadora según el fabricante	39
Figura 29 Carta de lubricación para la banda alimentadora según los estudios de lubricación.....	50

Siglas, acrónimos y abreviaturas

PET	Polietileno Tereftalato
AM	Administrador de mantenimiento
SKF	Fábrica de rodamientos de bola sueca

Resumen

En el área de mantenimiento es importante tener un plan de lubricación ajustado a la realidad de la compañía, su modo de operación, su entorno y a su vez la capacidad de llevar un control frente a esto; al tener un plan de lubricación adecuado y definido para la maquinaria se evitan averías consecuentes a la fricción entre superficies y, por ende, a calentamientos excesivos y desgaste.

Por lo que se busca tener un formato establecido de manera que, por medio de imágenes y datos puntuales, cualquier persona que se relacione con la tarea lo pueda realizar, o al menos sea fácil identificar la información allí relatada, es así como al crear las cartas de lubricación se crea un instrumento útil para la identificación de los puntos y cantidades de lubricación en la maquinaria.

En la compañía ENKA DE COLOMBIA S.A se puso en marcha una nueva planta de reciclaje de botellas PET, por lo que para sus equipos se hace necesario plantear y llevar a cabo un plan de lubricación adecuado tal que mitigue las fallas que estén relacionadas por fricción. Inicialmente se parte de la información brindada por el fabricante para los motorreductores y rodamientos (Catálogos y rutas de lubricación), para así dar y extender la vigencia de aspectos relacionados con garantía de equipos.

Para dar marcha al plan de lubricación inicial, se registra en el software de mantenimiento *Administrador de mantenimiento – AM* – donde se establecen las cantidades, frecuencias y tipos de grasa para los equipos, y automáticamente se empiezan a generar las órdenes de trabajo referentes a lubricación. Posterior a esta etapa de guardar garantías, para que el plan de lubricación se establezca de la mejor manera y sea el más adecuado, se procede a hacer un estudio de lubricación para los rodamientos, y buscar que de alguna manera no estén con falencias en lubricación sea por frecuencias, cantidades o tipos de grasas aplicadas. Esto consiste en caracterizar la forma de operación y el entorno en el que se desempeña cada uno de los rodamientos de los equipos, así como sus medidas y mediante las calculadoras que nos ofrece la compañía especializada de lubricación, *NORIA*, se establece la cantidad y frecuencia de reengrase, y a partir de la relación de viscosidades de la grasa dictada por la compañía de rodamientos *SKF*, que da las

condiciones de desempeño adecuadas para las grasas, es así que se determinan las condiciones de lubricación ajustadas a los rodamientos.

Una vez se establecen frecuencias, cantidades y viscosidad de las grasas óptimas, se actualiza la información en el software - *AM* – y a su vez se lleva a las cartas de lubricación, donde se identifica de manera gráfica el equipo, el punto a lubricar, la frecuencia, tipo de grasa y cantidad.

Con esto se pretende facilitar y/o aclarar el sistema y métodos de lubricación para la nueva planta de reciclaje de botellas PET de la compañía ENKA DE COLOMBIA S.A y que a su vez se minimicen las averías en los componentes con movimiento relativo entre superficies.

Palabras clave: lubricante, plan de lubricación, cartas de lubricación, reciclaje, PET, mantenimiento, viscosidad, grasa.

Abstract

In the maintenance area it is important to have a lubrication plan adjusted to the reality of the company, its mode of operation, its environment and in turn the ability to keep track of this; having a lubrication plan adjusted and defined for the machinery avoids breakdowns resulting from friction between surfaces and, therefore, excessive heating and wear.

Therefore, the aim is to have an established format so that, by means of images and specific data, any person related to the task can perform it, or at least it is easy to identify the information reported therein, thus creating the lubrication charts as a useful tool for the identification of lubrication points and quantities in the machinery.

The company *ENKA DE COLOMBIA S.A.* started up a new PET bottle recycling plant, so for its equipment it is necessary to propose and carry out a lubrication plan adjusted to the operational mode of the equipment, in order to mitigate the failures that are related to friction. Initially, we start from the information provided by the manufacturer for gear motors and bearings (catalogs and lubrication routes), in order to give and extend the validity of aspects related to equipment warranty.

To start the initial lubrication plan, it is registered in the maintenance software *Administrador de Mantenimiento - AM* - where the quantities, frequencies and types of grease for the equipment are established, and automatically start generating work orders related to lubrication. After this stage of saving guarantees, we proceed to make a lubrication study for the bearings and try to ensure that they are not somehow lacking in lubrication, either by frequency, quantity or type of grease applied. This consists of characterizing the way of operation and the environment in which each of the bearings of the equipment performs, as well as their measurements and by means of the calculators offered by the specialized lubrication company, *NORIA*, the quantity and frequency of regreasing is established, and from the grease viscosity ratio described by the *SKF* bearing company, which gives the adequate performance conditions for the greases, this is how the lubrication conditions adjusted to the bearings are determined.

Once the frequencies, quantities and viscosity of the optimum greases are established, the information is updated in the Excel file, which will be used to update the information in the

software - *AM* - and in turn is taken to the lubrication charts, where the equipment, the point to be lubricated, the frequency, type of grease and quantity are graphically identified.

This is intended to facilitate and/or clarify the lubrication system and methods for the new PET bottle recycling plant of the company ENKA DE COLOMBIA S.A. and in turn minimize failures in the components with relative movement between surfaces.

Keywords: lubricant, lubrication plan, lubrication charts, recycling, PET, maintenance, viscosity, grease.

Introducción

ENKA DE COLOMBIA S.A es una compañía que fue fundada en 1964 por el grupo holandés Akzo Nobel e importantes compañías textiles del país con el propósito de fabricar y comercializar resinas y fibras sintéticas, actualmente es una empresa 100% Colombiana, líder en reciclaje de botellas posconsumo en el país con un procesamiento diario promedio de 40 Toneladas de botellas PET y se encuentra en la ejecución del proyecto de una nueva planta de reciclaje pronosticada para proceso de 100 Toneladas diarias con arranque y ajuste entre los meses de octubre, noviembre y diciembre; una etapa crucial porque permitió caracterizar la forma de operación y desempeño en los equipos que comprenden el proceso.

Por lo que se plantea el desarrollo del plan de lubricación para los 133 equipos que la requieren en esta planta, de tal manera que se minimicen las averías y paros de planta a partir de desgaste excesivo y/o funcionamiento en condiciones inadecuadas, y así mantener la disponibilidad de máquina. Las líneas del proceso de reciclaje de botellas PET se comprenden así:

- **Prelavado de las botellas**, donde se lleva a cabo la alimentación de las pacas de botella, su posterior separación, y prelavado de las botellas PET. Con equipos como bandas transportadoras, centrífuga lavadora y ventiladores.
- **Clasificación**, donde se procede a clasificar las botellas por medio de bandas transportadoras, buscando elementos y materiales no deseados.
- **Molienda**, donde se tritura el PET en los molinos generando escamas que se lavan en lavadoras centrífugas.
- **Lavado**, donde se lleva a cabo un estricto lavado y secado de la escama.
- **Granulación**, se inyecta el PET para llevar a cabo la granulación de este.

La lubricación es imprescindible en los procesos de mantenimiento de las máquinas, ya que el rozamiento entre partes genera desgaste, ruidos y aumentos de temperatura por causa de la fricción, lo que se traduce en pérdidas de potencia, y se debe tener en cuenta tanto para el arranque como para el funcionamiento continuo, por lo que se busca tener las máquinas a punto y bien lubricadas para no tener problemas referentes a este rozamiento. Así mismo se requiere registrar el plan de lubricación en el software de mantenimiento y crear las cartas de lubricación de tal manera

que estén ajustadas a los equipos bajo condiciones ambientales, capacidad, material a procesar y carga de cada uno de ellos; para lo que se hace el estudio de lubricación, que implica la evaluación de la forma de operación de cada componente de la máquina y la selección de los lubricantes adecuados, Se considera el tipo de lubricante, viscosidad, cantidad y frecuencia de lubricación. Además del proceso de selección y aplicación de lubricantes, el estudio de lubricación también implica la evaluación de las condiciones de operación de la maquinaria, como la temperatura, la carga y la velocidad de operación. Estas condiciones pueden afectar la eficacia del lubricante y, por lo tanto, deben ser consideradas al seleccionar el tipo de lubricante y la frecuencia de lubricación. Es así como se aborda la refinación del plan de lubricación con las cantidades y frecuencia de reengrase, y a su vez el estudio de viscosidades para la grasa aplicada, dando pie a modificaciones frente a lo establecido por el fabricante referente a lubricación.

En general, un estudio de lubricación adecuado puede mejorar la eficiencia y la confiabilidad de la maquinaria, reducir los costos de mantenimiento y prolongar la vida útil de la máquina. Y finalmente, es importante recordar que el estudio de lubricación es un proceso continuo. Los requisitos de lubricación pueden cambiar con el tiempo debido a cambios en las condiciones de operación o en la maquinaria misma. Por lo tanto, es importante revisar regularmente el estudio de lubricación y actualizarlo según sea necesario para garantizar un rendimiento óptimo de la maquinaria.

Para la generación de las cartas, se establece un formato para la compañía ENKA DE COLOMBIA S.A, adaptada a partir de la norma DIN 51502 y la norma ISO 6743, donde se determina la forma de codificar los lubricantes usados, con el método de lubricación, además de la frecuencia y cantidad de grasa requerida para los puntos de lubricación para cada equipo.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Realizar el plan de lubricación y las cartas de lubricación para los equipos en la nueva planta de reciclaje de la compañía ENKA DE COLOMBIA S.A.

1.2 Objetivos específicos

- Identificar las levantar información técnica y parametrizarla en el software de mantenimiento con el fin de que el plan de lubricación de la nueva planta de reciclaje de botellas PET quede en marcha.
- Encontrar los aspectos más relevantes que afectan la lubricación de una planta de reciclaje PET para ENKA DE COLOMBIA S.A.
- Recopilar por medio de bases de datos, catálogos y personal técnico del área de mantenimiento información para ajustar las cartas de lubricación

2 Marco teórico

2.1 Método implementado

Para determinar el plan de lubricación para la maquinaria disponible en planta, se procede a hacer lectura de catálogos y ruta de lubricación brindada por el fabricante. Es, porque al ser equipos nuevos, se da vigencia de la garantía de éstos con el fabricante; siendo así una forma “óptima” para adecuar y poner los equipos a punto en cuanto a lubricación.

Mientras los equipos entran en operación, lo que se plantea es que la lubricación inicial sea de la forma como el proveedor lo sugiera (Siddique & Khan, 2019), organizando esto en un archivo para que haya claridad con los operarios lubricadores y así tener la lubricación para el arranque de manera adecuada según el fabricante, donde se determina la cantidad, frecuencia, puntos de lubricación y tipo de grasa para cada uno de los equipos. Para las rutinas de reengrase para la planta de reciclaje, también se parte de la ruta de lubricación brindada por el fabricante (Siddique & Khan, 2019), donde se plasma también en un archivo para su orden y que sea oportunamente registrado en el software de mantenimiento *Administrador de mantenimiento – AM* – para que semanalmente se genere el plan de lubricación para la planta, donde se establece el equipo, puntos de lubricación, tipo de grasa y cantidad, a su vez el personal encargado de realizar tal actividad. .

Una vez entra en marcha el programa de lubricación, adicionalmente se agendan inspecciones semanales para evaluar el comportamiento de la maquinaria y sus componentes lubricados y reconocer si hay falencias en dicho plan. Así se da reconocimiento visual y al tacto frente a posibles defectos que se tengan en el programa (Fitch, 2013).

Para determinar si la cantidad y frecuencia de lubricación es la adecuada, se extraen datos que nos permitan caracterizar el contexto operacional para cada equipo, donde se debe tener en cuenta aspectos como lo son: Temperatura en el rodamiento, revoluciones por minuto del elemento, tamaño y diseño del rodamiento, humedad, vibraciones, inclinación del elemento y contaminación en el mismo (Fitch, 2013). Según esto se hacen las correcciones necesarias en el plan en estos aspectos.

Así, al momento de definir si el lubricante usado es el adecuado, se realiza un análisis referente a la relación de viscosidad real de funcionamiento y la viscosidad nominal de la grasa, a

partir de la temperatura, viscosidad, las revoluciones por minuto el diámetro medio del rodamiento. La mayoría de las aplicaciones de rodamientos son estimadas que tengan un valor entre 1 y 4 (Garcia, 2019).

Al momento de realizar el estudio de lubricación de rodamientos para las máquinas, se deben recopilar los datos y características planteadas para dar un panorama frente a la forma de operación y desempeño de ellos. Con estos resultados se procede a la parametrización en formatos planteados por la empresa para las cartas de lubricación, para tener claridad frente a la aplicación del lubricante, los puntos a lubricar, con sus cantidades y frecuencias, esto con el fin que se ilustre el procedimiento y que sea de fácil entendimiento.

3 Metodología

3.1 Reconocimiento de los equipos

Para tener un entendimiento de la forma de operación de los diferentes equipos en el proceso de la planta de reciclaje, se procede a un reconocimiento en la planta, los equipos, forma de operación de ellos, y entendiendo las etapas que comprenden dicho proceso.

En primer lugar está la línea de prelavado de botellas, es donde el proceso inicia con la alimentación de las botellas por medio de la *banda alimentadora de botellas*, donde las botellas llegan en pacas de 1 metro cúbico en promedio (**Figura 1**); éstas son parcialmente separadas y la banda las transporta hacia el *abridor de pacas*, que es el equipo que separa las botellas, consta de 8 tornillos dotados con plaquitas anti desgaste, que combinado con el giro en sentidos opuestos separan las botellas que están agrupadas (**Figura 2**), éstas caen a una serie de bandas transportadoras, en las que se hace un primer filtro de separación, en esta ocasión es de metales por medio de un electroimán que desvía el curso de estos, las botellas que siguen su curso son dirigidas hacia la *centrífuga prelavador de botella*, donde las botellas son lavadas con agua y vapor de agua para hacer un primer tratamiento y quitar el exceso de suciedad (**Figura 3**).

Figura 1

Línea de prelavado, Banda alimentadora de botellas



Figura 2

Línea de prelavado, Abridor de pacas

**Figura 3**

Línea de prelavado, Centrífuga prelavadora de botellas



Una vez sale el material de la centrífuga, el *ventilador centrífuga* lo impulsa hacia la línea de clasificación, donde inicia con el *separador balístico* equipo que se encarga de desgarrar y separar las etiquetas, es constituido por 26 ejes rotativos con 52 rodamientos en total, este equipo se apoya de un ventilador y del *transportador de rodillos* para llevar a cabo la separación y el empaque de las etiquetas; las botellas que salen del separador son proveídas a un circuito de 20

bandas transportadoras que tienen etapas de clasificación sensorial (**Figura 4**) y manual (**Figura 5**), con el fin de separar y empacar el material que no es deseado en el proceso, sea por el tipo de plástico o por impurezas como objetos o cuerpos extraños en su interior, y que el material deseado pase al siguiente proceso.

Figura 4

Línea de clasificación, Banda de aceleración



Figura 5

Línea de clasificación, Banda de clasificación manual



Figura 6

Línea de clasificación, Banda de alimentación de molinos



En cuanto el PET recorre el circuito de bandas completamente, por medio de una última banda transportadora hacia la línea de molienda (**Figura 6**), se dirige el material hacia un *desviador* que será el equipo que lo distribuya hacia el *molino norte* y el *molino sur* ilustrados en la **Figura 7**, que son los encargados de reducirlo en fragmentos pequeños como una escama, cada molino a su vez tiene asociado equipos complementarios como son la *lavadora centrífuga* (**Figura 8**) para enjuagar el material y el *soplador centrífugo* para sacar de esta área las escamas (**Figura 9**).

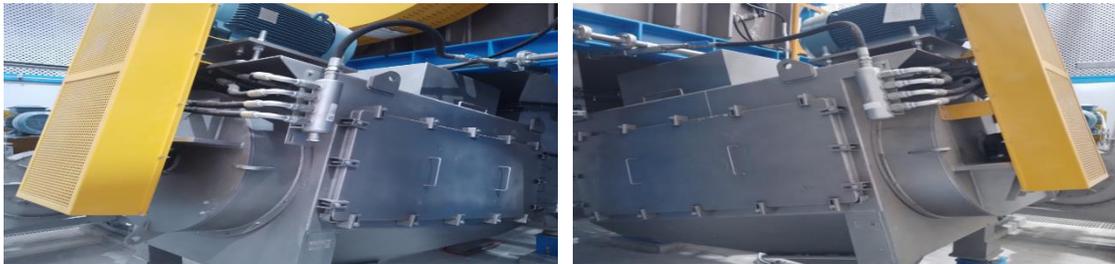
Figura 7

Línea de molienda, Molino norte y sur



Figura 8

Línea de molienda, Lavadora centrífuga molino norte y sur

**Figura 9**

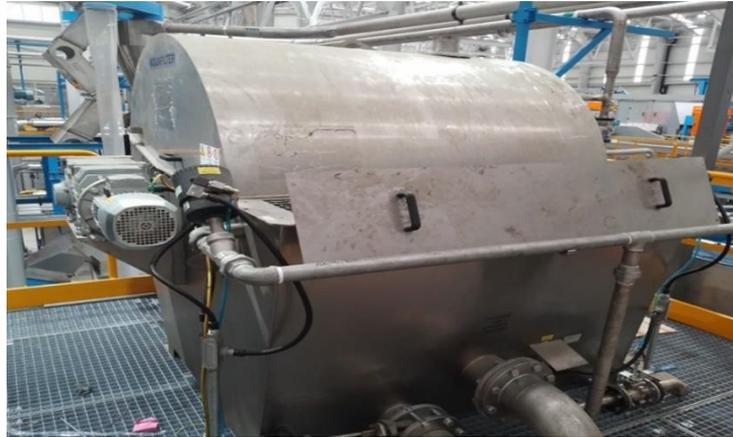
Línea de molienda, Soplador centrífugo molino norte y sur



Se dirige hacia un *decantador*, un *clasificador de arena* y un *microfiltro* (**Figura 10**) para hacer una primera limpieza, aquí inicia la línea de lavado. Posterior a esto se dirige hacia un *separador de etiquetas* y a una *válvula rotativa* que entrega el material al *silo buffer*, éste entrega a 4 *tornillos de extracción* (**Figura 11**) y 2 *tornillos de recolección* para entregar el material al *tornillo de entrega a reactores por baches* (**Figura 12**), el cual distribuye el material a los 3 *reactores por baches* (**Figura 13**) que eliminan los contaminantes y residuos del plástico reciclado, a esto se suma una serie de procesos de lavado en *lavadoras centrífugas*, *tamices vibratorios*, *secadores* (**Figura 14**), *ventiladores*, *tornillos sinfín*, *reactor de lavado* y *tanque de separación* (**Figura 15**). Todo esto aplicado para justamente purificar el producto antes de darlo como por terminado para que pase a la siguiente etapa.

Figura 10

Línea de lavado, Microfiltro

**Figura 11**

Línea de lavado, Tornillos de extracción silo buffer



Figura 12

Línea de lavado, Tornillo de entrega a reactores por baches

**Figura 13**

Línea de lavado, Reactor por baches



Figura 14
Línea de lavado, Secador centrífugo



Figura 15
Línea de lavado, Tanque de separación



La línea de granulación específicamente se trata de una etapa en la que se almacena el material que pasa todos los filtros de separación y lavado, aquí se da una clasificación final, donde se determina la calidad del producto, por tamaño de fragmentos. Allí hay inmersos equipos como *silos de mezcla (Figura 16)*, *silos de calidad (Figura 17)*, *válvulas rotativas (Figura 18)*, *tornillos sinfín (Figura 19)*, y *ventiladores (Figura 20)*, los cuales se encargan de preparar el material para su disposición final.

Figura 16

Línea de granulación, Silo de mezcla



Figura 17

Línea de granulación, Silo de calidad



Figura 18

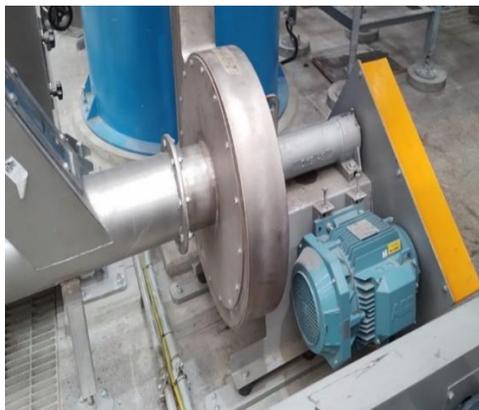
Línea de granulación, válvula rotativa

**Figura 19**

Línea de granulación, Tornillo sin fin

**Figura 20**

Línea de granulación, Ventilador



Todo este proceso se lleva a cabo para dar disposición a una línea parcialmente aparte, ya que comprende una extrusora con cortador que entrega pellets o gránulos de PET reciclado dirigido a la industria alimenticia. Es un proceso bastante importante ya que favorece la economía circular que se centra en el uso eficiente y sostenible de los recursos, y a su vez se favorece la reducción de la cantidad de residuos, favorecer el ahorro de energía y recursos, aumentar creación de empleo y generación de ingresos (González, 2020).

3.2 Lubricación según el fabricante.

Para garantizar la lubricación inicial de la planta de reciclaje, se requiere seguir los mandatos del fabricante, por lo que se adapta el documento de la ruta de lubricación que es sugerida por ellos, donde están definidos los equipos que deben ser proveídos de lubricante. Se establece garantizar la lubricación para el arranque de planta, donde se establecen los equipos que deben ser proveídos de lubricante, sea aceite o grasa; también se determinan los tiempos de relubricación, primeros cambios de lubricante y cambios rutinarios; por otro lado, se identifica la lista con los lubricantes sugeridos, que cumplen las condiciones de funcionamiento y desempeño para los componentes. Esto, por temas de cubrir garantías en la maquinaria, se debe respetar tal y como se establece en el documento *Lubricant List* del fabricante *Previero* (Bottles & Plant, 2022). Pero por proximidad y economía en su adquisición, se consulta con expertos en lubricación como lo es la compañía *R & R Lubricantes*, que se encargó de determinar los lubricantes disponibles según las recomendaciones del fabricante.

La información se extrajo y se organizó en un documento *Excel*, para tener claridad equipo por equipo sus rutinas de lubricación y verificación de lubricación para el arranque. Así como hubo equipos que se omitió la primera lubricación porque ya venían con lubricante (Por ejemplo, el *transportador de rodillos*, con lubricación tanto en chumaceras como en su motorreductor), hubo otros que, por el contrario, no figuraban como equipos para lubricación para el arranque y no tenían lubricante alguno (Por ejemplo, el *tanque de separación*, aunque los rodamientos tenían lubricante, el motorreductor del tornillo en su interior no tenía aceite). Esto hizo necesario el chequeo de toda la planta, haciendo completamente el recorrido verificando cada uno de los motorreductores, chumaceras y elementos en que el lubricante se requiere, estas tareas para el arranque se hacen con personal técnico de *Enka de Colombia* y a su vez de *R&R Lubricantes*.

Es así también como se evidencia que el fabricante no tuvo en cuenta las unidades de mantenimiento neumáticas para los equipos que requieren para su control, como lo son los *Reactores por baches* y las *Unidades de calentamiento*, que investigando con el fabricante de las unidades de mantenimiento usan aceite con viscosidad ISO VG 10, por lo que se procede a homologarlo con un aceite automovilístico SAE 10.

Toda la información de lubricación rutinaria se lleva al software de mantenimiento *Administrador de mantenimiento – AM –* y se parametriza tal que salga con la frecuencia y cantidad dada por el fabricante.

Figura 21
Evidencia del programa de lubricación en el software - AM -

Código AC	Tar	Descripción	Ind	TT	TM	TA	Crt	Pri	Ubicación Física	Cod. CC	N
43-9-18	1	INSPECCIÓN DE NIVEL Y REPONER ACEITE CAJA REDUCTORA REF EC4055FE, ACEITE MOBILGEAR XMP320	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-18	2	CAMBIAR ACEITE A CAJA REDUCTORA REF EC4055FE, ACEITE MOBILGEAR XMP320 (4.7 LITROS)	Mec	Lubricación	Mantto	+S	1		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-18	3	RELUBRICAR RODAMIENTO CHUMACERA (UC212) INFERIOR, MOBILGREASE XHP222 (4.6 GR) X 2 PUNTOS	Mec	Lubricación	Mantto	SS	1		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-18	4	RELUBRICAR RODAMIENTO CHUMACERA SUPERIOR (UC212), MOBILGREASE XHP222 (6.6 GR) X 2 PUNTOS	Mec	Lubricación	Mantto	SS	1		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-18	5	INSPECCIÓN DE NIVEL Y REPONER ACEITE A TANQUES PARA LAS CADENAS, ACEITE TELLIS S2M 46	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	1	INSPECCIÓN DE NIVEL Y REPONER ACEITE REDUCTOR TORNILLO 1 REF EM1020, ACEITE MOBILGEAR XMP320	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	2	CAMBIAR ACEITE A REDUCTOR TORNILLO 1 REF EM1020, ACEITE MOBILGEAR XMP320 (2 LITROS)	Mec	Lubricación	Mantto	+S	1		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	3	INSPECCIÓN DE NIVEL/CAMBIAR LUBRICADOR AUTOMÁTICO RODAM (UCP215) SUPERIOR TORNILLO 1, GRASA LGW42	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	4	INSPECCIÓN DE NIVEL/CAMBIAR LUBRICADOR AUTOMÁTICO RODAM (UCP215) INFERIOR TORNILLO 1, GRASA LGW42	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	5	INSPECCIÓN DE NIVEL Y REPONER ACEITE A REDUCTOR TORNILLO 2 REF EM1020, ACEITE MOBILGEAR XMP320	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	6	CAMBIAR ACEITE A REDUCTOR TORNILLO 2 REF EM1020, ACEITE MOBILGEAR XMP320 (2 LITROS)	Mec	Lubricación	Mantto	+S	1		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	7	INSPECCIÓN DE NIVEL/CAMBIAR LUBRICADOR AUTOMÁTICO RODAM (UCP215) SUPERIOR TORNILLO 2, GRASA LGW42	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	8	INSPECCIÓN DE NIVEL/CAMBIAR LUBRICADOR AUTOMÁTICO RODAM (UCP215) INFERIOR TORNILLO 2, GRASA LGW42	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	9	INSPECCIÓN DE NIVEL Y REPONER ACEITE A REDUCTOR TORNILLO 3 REF EM1020, ACEITE MOBILGEAR XMP320	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	10	CAMBIAR ACEITE A REDUCTOR TORNILLO 3 REF EM1020, ACEITE MOBILGEAR XMP320 (2 LITROS)	Mec	Lubricación	Mantto	+S	1		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	11	INSPECCIÓN DE NIVEL/CAMBIAR LUBRICADOR AUTOMÁTICO RODAM (UCP215) SUPERIOR TORNILLO 3, GRASA LGW42	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	12	INSPECCIÓN DE NIVEL/CAMBIAR LUBRICADOR AUTOMÁTICO RODAM (UCP215) INFERIOR TORNILLO 3, GRASA LGW42	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	13	INSPECCIÓN DE NIVEL Y REPONER ACEITE A REDUCTOR TORNILLO 4 REF EM1020, ACEITE MOBILGEAR XMP320	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	14	CAMBIAR ACEITE A REDUCTOR TORNILLO 4 REF EM1020, ACEITE MOBILGEAR XMP320 (2 LITROS)	Mec	Lubricación	Mantto	+S	1		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	15	INSPECCIÓN DE NIVEL/CAMBIAR LUBRICADOR AUTOMÁTICO RODAM (UCP215) SUPERIOR TORNILLO 4, GRASA LGW42	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	16	INSPECCIÓN DE NIVEL/CAMBIAR LUBRICADOR AUTOMÁTICO RODAM (UCP215) INFERIOR TORNILLO 4, GRASA LGW42	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	17	INSPECCIÓN DE NIVEL Y REPONER ACEITE A REDUCTOR TORNILLO 5 REF EM1020, ACEITE MOBILGEAR XMP320	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	18	CAMBIAR ACEITE A REDUCTOR TORNILLO 5 REF EM1020, ACEITE MOBILGEAR XMP320 (2 LITROS)	Mec	Lubricación	Mantto	+S	1		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	19	INSPECCIÓN DE NIVEL/CAMBIAR LUBRICADOR AUTOMÁTICO RODAM (UCP215) SUPERIOR TORNILLO 5, GRASA LGW42	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	20	INSPECCIÓN DE NIVEL/CAMBIAR LUBRICADOR AUTOMÁTICO RODAM (UCP215) INFERIOR TORNILLO 5, GRASA LGW42	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	21	INSPECCIÓN DE NIVEL Y REPONER ACEITE A REDUCTOR TORNILLO 6 REF EM1020, ACEITE MOBILGEAR XMP320	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	22	CAMBIAR ACEITE A REDUCTOR TORNILLO 6 REF EM1020, ACEITE MOBILGEAR XMP320 (2 LITROS)	Mec	Lubricación	Mantto	+S	1		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	23	INSPECCIÓN DE NIVEL/CAMBIAR LUBRICADOR AUTOMÁTICO RODAM (UCP215) SUPERIOR TORNILLO 6, GRASA LGW42	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	24	INSPECCIÓN DE NIVEL/CAMBIAR LUBRICADOR AUTOMÁTICO RODAM (UCP215) INFERIOR TORNILLO 6, GRASA LGW42	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	25	INSPECCIÓN DE NIVEL Y REPONER ACEITE A REDUCTOR TORNILLO 7 REF EM1020, ACEITE MOBILGEAR XMP320	Mec	Lubricación	Mantto	+S	3		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES
43-9-20	26	CAMBIAR ACEITE A REDUCTOR TORNILLO 7 REF EM1020, ACEITE MOBILGEAR XMP320 (2 LITROS)	Mec	Lubricación	Mantto	+S	1		ZONA D-E-A-PERTURA	38610	ES

3.3 Extracción de información de rodamientos

Para efectuar el estudio de cantidad y frecuencia de reengrase para los rodamientos, se procede a tomar datos del tipo de rodamientos que poseen las máquinas. Se toman registros de inclinación y tipo de chumacera, desde la página *SKF* se tomó la información de tipo de rodamiento (de bolas, cilíndricos, etc) y tamaños de éstos (García, 2019), con esto se brinda información suficiente para realizar el estudio de cantidad de grasa adecuada para la relubricación. Desde los catálogos y relación de reducción en motorreductores se hallaron las RPM teóricas para cada uno de los equipos, con estos se trabajan para llevar a cabo una buena aproximación en cuanto a la operación de los equipos.

La temperatura fue medida con un termómetro digital infrarrojo, el cual se puede usar a una distancia moderada y que facilitó tal medición del parámetro, esto no arrojó medidas alarmantes o por fuera de lo normal, lo que da a concluir que las máquinas de la planta funcionan bajo circunstancias normales.

Las condiciones de vibración, contaminación y humedad fueron extraídas según la percepción del modo de funcionamiento y el ambiente, para caracterizar el entorno en el cual se desempeña el rodamiento. Las cuales al ser un parámetro cualitativo o con rangos bastante marcados se permite hacer tal procedimiento con estos.

Estas características son extraídas para hacer el cálculo de la frecuencia de reengrase. En muchos casos se extiende los tiempos de lubricación y en otros se acorta este tiempo. Para determinar una buena aplicación, las frecuencias son dadas en semanas, y así, la cantidad de grasa es dividida en estos tiempos de reengrase especificados. Es así como se empieza a dar una refinación del plan de lubricación que se añade al mantenimiento de la planta.

Para la determinación de la cantidad y frecuencia de reengrase de los rodamientos, se hace uso de las *calculadoras de NORIA*, que usan los anteriores datos recopilados y los parametriza para dar solución a dichos ítems y usan las siguientes ecuaciones (Noria Latín América, 2015).

Ecuación para cantidad de grasa:

$$g = D * B * 0,005$$

Donde:

g: Cantidad de grasa a aplicar [g].

D: Diámetro mayor del rodamiento [mm].

B: Ancho del rodamiento [mm].

Ecuación para frecuencia de reengrase:

$$T = K \left[\left(\frac{14000000}{n\sqrt{d}} \right) - 4d \right]$$

Donde:

T: Frecuencia [horas]

K: Producto de los factores de corrección = $F_t * F_c * F_h * F_v * F_p * F_d$

con:

Ft: Corrección por temperatura

Fc: Corrección por contaminación

Fh: Corrección por humedad

Fv: Corrección por vibración

Fp: Corrección por posición

Fd: Corrección por diseño de rodamiento

Es así como se establece una refinación inicial para la lubricación de los equipos, y en aquellos equipos que se da una frecuencia de más de un año (52 semanas), se establece que la relubricación se hace precisamente cada 52 semanas para no extender y exceder este tiempo.

3.4 Estudio de grasas.

Al momento de determinar si la grasa aplicada es o no la más adecuada, se procede a traer a colación las velocidades de funcionamiento (RPM), la temperatura de trabajo, el diámetro medio del rodamiento y el grado ISO de viscosidad de la grasa aplicada.

Con esto se entra al documento de *Rodamientos de SKF* y se hace el análisis de la relación de viscosidad, donde se tiene de acuerdo con el diagrama de *grados de viscosidad según temperatura y viscosidad de la grasa* la viscosidad real (v ; usada para selección la grasa adecuada para una aplicación) y se divide por la viscosidad nominal de la grasa ($v1$, usada para la clasificación de las grasas en diferentes categorías) de acuerdo con el diagrama *cálculo de viscosidad nominal*; al hacer esta relación se debe garantizar que el resultado sea un valor entre [1 -4], todo para que el rodamiento tenga un desempeño adecuado (Garcia, 2019).

Para determinar la viscosidad real de funcionamiento, en el diagrama *grados de viscosidad según temperatura y viscosidad de la grasa* se entra con la temperatura de funcionamiento y la viscosidad de la grasa, allí se establece la viscosidad de la grasa según la temperatura donde se da que la viscosidad disminuye exponencialmente con el aumento de temperatura.

Es así como se determina que:

$$k = \frac{v}{v_1}$$

Donde:

k: Relación de viscosidad

v: Viscosidad real de la grasa a la temperatura de funcionamiento

*v*₁: Viscosidad nominal en función del diámetro medio del rodamiento y RPM

Teniendo presente que dicho resultado debe estar entre [1 – 4], en los casos en que esto no aplique, se debe modificar la grasa tal que cumpla que la viscosidad usada garantice la viscosidad real de funcionamiento a la temperatura de trabajo tal que se logre un valor de dicha relación entre el intervalo descrito.

3.5 Lubricación a partir de la experiencia.

Al dialogar semana tras semana con el personal técnico encargado de la lubricación en la compañía, se evidencia que las rutinas de lubricación se estaban arrojando frecuencias de lubricación muy bajas y con gran cantidad de grasa para dicho tiempo. Es así como se empiezan a extender los tiempos de lubricación e inspección. También se llega a un consenso donde se cuestiona la rutina de lubricación para equipos como lo son las *bandas transportadoras* con su sistema *System 24*, que son dosificadores automáticos de grasa, que se requiere un monitoreo constante para su cuidado y concertar que está con su funcionamiento adecuado, los *Molinos* también entran en este cuestionamiento por su frecuencia tan corta y cantidad de grasa tan alta que se dicta que sea; incluso con la efectividad de funcionamiento del dosificador *System 24* de la *centrífuga prelavadora*, que, al contrario de las bandas transportadoras, este si avisa si hay errores presentes por medio de alertas con luces led, pero que se debe tener muy claro el modo de falla y el motivo por el cual se arrojan dichas alertas. Sin embargo, se capacita el personal en este tema para que el sistema siga en vigencia.

Figura 24

Lbrucadores automáticos System 24 de SKF.



Nota Fuente: <https://www.skf.com/co/products/lubrication-management/lubricators/gas-driven-single-point-automatic-lubricators>

Es así como con dichas recomendaciones y acuerdos se empieza a adecuar aún más el plan de mantenimiento establecido y se lleva al software – *AM* – para que las rutinas de lubricación e inspección arrojen menos cantidad de tareas sin descuidar su estado claro está.

3.6 Cartas de lubricación.

Al momento de crear las cartas de lubricación, se extrae el formato de dichas cartas propio de *Enka de Colombia S.A.S*, donde actualmente hay una adaptación entre la norma *DIN 51502* y la norma *ISO 6743*. Donde se determina el elemento a lubricar, el método de lubricación, los puntos a lubricar, tipo de lubricante, código ISO, frecuencia y cantidad de lubricante a proveer.

Como principio, la norma *DIN 51502* (Olipes, s.f.) está dirigida a clasificar los aceites y las grasas lubricantes según su consistencia y propiedades como: aplicación, aditivos, aceite base (mineral o sintético), temperatura máxima y temperatura mínima de trabajo. Buscando normalizar su codificación y que las personas logren encontrar una grasa acorde a sus necesidades.

Figura 25*Codificación del lubricante según la norma DIN 51502*

Nota Fuente: <https://www.olipes.com/eu/es/Comunicación/documentos-de-interes/grasas-lubricantes-clasificacion-din-51502-e-iso-6743-9>

Tabla 1*Definición de la primera letra de codificación*

Letra identificativa	Tipo de grasa	Símbolo
K*	Grasas para rodamientos, cojinetes y superficies deslizantes de acuerdo con la DIN 51825	Para grasas con base en aceite mineral
G	Grasas para engranajes cerrados de acuerdo con la DIN 51826	
OG	Grasas para engranajes abiertos, engranajes (lubricantes adherentes sin betún)	△
M	Grasas para cojinetes y juntas**	
Letras adicionales de acuerdo con la Tabla 1, material del grupo 3	Con respecto a sus características principales, las grasas sintéticas se clasifican de la misma manera que las grasas con base de aceite mineral	Para grasas con base en aceite sintético ◇

*ISO/TR3498: 1986 utiliza las letras XM en el lugar de la letra identificativa K

**Exigencias más bajas que las grasas donde aparece la letra K

Fuente: <https://n9.cl/fr5yn>

Tabla 2*Definición de la segunda letra de codificación*

Letra adicional identificativa	Lubricantes
D	Para aceites lubricantes con aditivos detergentes. Ej.: aceite hidráulico HLPD
E	Para aceites lubricantes, que se suelen utilizar mezclados con agua, Ej.: lubricante refrigerante mezclable con agua, lubricante refrigerante SE
F	Para lubricantes con aditivos lubricantes sólidos (grafito, sulfuro de molibdeno), Ej.: aceite lubricante CLPF
L	Para aceites con sustancias activas para aumentar la protección contra la corrosión y/o el envejecimiento, Ej.: aceite DIN 51517 - CL 100

M	Para lubricantes refrigerantes mezclables con agua y con componentes de aceite mineral. Ej. SEM lubricante refrigerante
S	Para lubricantes refrigerantes mezclables agua y con base a aceite sintética, Ej.: SES lubricante refrigerante
P	Para lubricantes con sustancias activas para reducir el rozamiento y el desgaste en el rozamiento mixto y/o aumentar la estabilidad frente a la El: CLP 100 aceite
V*	Para lubricantes, que se disuelven con disolventes. Ej.: DIN 51513.BB.V aceite

*Productos con la letra identificativa adicional V a veces tienen que llevar un etiquetado de acuerdo a las normas sobre Sustancias Peligrosas

Fuente: <https://n9.cl/fr5yn>

Tabla 3

Definición del grado de consistencia y del cuarto carácter para la codificación

Grado NLGI	Penetración trabajada después de 60 Golpes a 25°C (0.1 mm)	Apariencia	Consistencia - Analogía con un alimento
000	445-475	fluida	Aceite de cocina
00	400-430	fluida	Compota de manzana
0	355-385	Muy suave	Mostaza marrón
1	310-340	Suave	Tomate concentrado
2	265-295	Moderadamente suave	Manteca de cacahuete
3	220-250	Semi-fluida	Margarina
4	175-205	Semi -dura	Yogur helado
5	130-160	Dura	Pasta suave
6	85-115	Muy dura	Queso Cheddar para untar

Fuente: <https://n9.cl/fr5yn>

Tabla 4

Definición del cuarto carácter para la codificación

Letra identificativa	Temperatura máxima de aplicación*	Comportamiento frente al agua según DIN 51807, parte 1 escala de evaluación DIN 5180**
C	+60°C	0-40 o 1-40
D		2-40 o 3-40
E	+80°C	0-40 o 1-40
F		2-40 o 3-40
G	+100°C	0-90 o 1-90
H		2-90 o 3-90
K	+120°C	0-90 o 1-90
M		290 o 3-90

N	+140°C	a acuerdo
P	+160°C	
R	+180°C	
S	+200°C	
T	+220°C	
U	más de +220°C	

*La temperatura máxima de aplicación para lubricación continua corresponde a la temperatura máxima de prueba en ensayos efectuados según DIN 51821 parte 2 y/o DIN 51821 parte 2, caso que hayan aprobado los ensayos.

** 0 significa que no hay cambio

1 significa un ligero cambio

2 significa un cambio moderado

3 significa un cambio considerable

Fuente: <https://n9.cl/fr5yn>

Tabla 5

Definición del número de codificación

Número identificativo adicional	Temperatura mínima de aplicación
-10	-10°C
-20	-20°C
-30	-30°C
-40	-40°C
-50	-50°C
-60	-60°C

*Nos indica la temperatura mínima de aplicación o trabajo: desde -10°C hasta -60°C

Fuente: <https://n9.cl/fr5yn>

La norma ISO 6743 (Noria Latín América, 2013) establece un sistema para identificar y clasificar aceites y grasas lubricantes, allí se hace referencia a la viscosidad, aceite base (mineral o sintético), consistencia, tipo de espesante y clasificación del aceite base, adicional a la identificación por colores según la viscosidad del lubricante.

Figura 26

Codificación del lubricante según norma ISO 6743

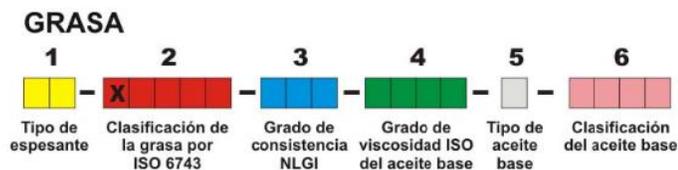


Tabla 6*Definición del tipo de espesante de las grasas*

TIPO DE ESPESANTE	CLAVE
Litio	LI
Litio complejo	LX
Poliurea	PU
Sulfonato de calcio	CS
Aluminio	AL
Aluminio complejo	AX
Arcilla/bentona	BE
Silicona	SI
Calcio	CA
Calcio complejo	CX
Sodio	NA
Bario	BA
Litio-calcio	LC
Micro-gel	MG
Litio-polímeros	LP

Fuente: <https://noria.mx/lublearn/lis-un-nuevo-sistema-de-identificacion-de-lubricantes/>

Tabla 7*Grado de consistencia del lubricante*

GRADO NLGI	CLAVE
NLGI # 000	000
NLGI # 00	000
NLGI # 0	0
NLGI # 1	1
NLGI # 2	2
NLGI # 3	3
NLGI # 4	4
NLGI # 5	5
NLGI # 6	6

Fuente: <https://noria.mx/lublearn/lis-un-nuevo-sistema-de-identificacion-de-lubricantes/>

Figura 27
Color identificador del lubricante según su grado de viscosidad

ISO VG	COLOR*	NOMBRE DEL COLOR	ISO VG	COLOR*	NOMBRE DEL COLOR
10		2975 C	220		1955 C
15		217 C	320		144 C
22		3435 C	460		376 C
32		2925 C	680		527 C
46		485 C	1000		528 C
68		356 C	1500		430 C
100		Amarillo C	2200		326 C
150		661 C	3200		254 C

GRADO SAE	COLOR	NOMBRE DEL COLOR*
0W		290 C
5W		430 C
10W		Naranja 021 C
15W		Purpura C
20W		Azul Proceso C
25W		Rojo Cálido C

GRADO SAE	COLOR	NOMBRE DEL COLOR*
20		Verde C
30		Amarillo C
40		Azul Reflex C
50		Rosa 495 C
60		4695 C

GRADO SAE	COLOR	NOMBRE DEL COLOR*
70W		Naranja 021 C
75W		Púrpura C
80W		Azul proceso C
85W		Rojo cálido C

GRADO SAE	COLOR	NOMBRE DEL COLOR*
80		Verde C
85		Amarillo C
90		Azul reflex C
110		Rosa 495 C
140		4695 C
190		375 C
250		Gris cálido 10C

* Pantone® Solid coated

Nota Fuente: <https://noria.mx/lublearn/lis-un-nuevo-sistema-de-identificacion-de-lubricantes/>

Tabla 8
Definición del tipo de aceite base para el lubricante

TIPO DE ACEITE BASE	CLAVE
Mineral	M
Vegetal	V
Sintético	S
Semi-sintético	B

Nota Fuente: <https://noria.mx/lublearn/lis-un-nuevo-sistema-de-identificacion-de-lubricantes/>

Tabla 9
Clasificación del aceite base para el lubricante

CLASIFICACIÓN DEL ACEITE BASE	CLAVE	CLASIFICACIÓN DEL ACEITE BASE	CLAVE
API Grupo 1 - Parafínico	G1	Poli Alquilen Glicol	PAG
API Grupo 2	G2	Aromáticos Alquilatados	AA
API Grupo 3	G3	Perfluoroalquilpolieter	PFE
API Grupo 4 - Polialfaolefinas	PAO	Polifenil Eter	PPE
Ester	ES	Silicón	SI
Diester	DE	Hidrocarburos Fluorinados	FHC
Ester Fosfatado Triaril	PEA	Poliol Ester	PE
Ester Fosfatado Tributil	PEB	Hidrocarburos Clorinados	CHC
Ester Fosfatado Alquil	PEK	Nafténico (Grupo V)	NAF
Hidrotratado - USP (Grupo 5)	USP		

Fuente: <https://noria.mx/lublearn/lis-un-nuevo-sistema-de-identificacion-de-lubricantes/>

Es así como se toman las respectivas fotografías en cada equipo, donde se evidencien de manera clara la identificación de los puntos a lubricar en cada equipo, y determinando así la codificación ISO de los lubricantes aplicados y plasmarlos en las cartas de lubricación de manera entendible.

Figura 28
Carta de lubricación para la banda alimentadora según el fabricante

enka		CARTA DE LUBRICACION		DIN 51502				
CARTA No. 1	018/BANDA ALIMENTADORA DE BOTELLAS	RUTA 43-9 SOREMA						
PU N T O S	METODO DE LUBRICA	MECANIS MO A LUBRICAR	COMPONEN TE	FRECUEN CIA	LUBRICANTE	CÓDIGO LUBRICANTE	CANT g/Lt	TAREA
1		REDUCTOR			MOBILGEAR XMP 320	GW-320-M-G3	4,7LT	REVISARY AJUSTAR
2		CHOMACER A SUPERIOR			MOBILGREAS EXHP 222	LI-2-220-M-G3	6,67	REENGRASAR
3		CHOMACER A SUPERIOR			MOBILGREAS EXHP 222	LI-2-220-M-G3	6,67	REENGRASAR
4		CHOMACER A INFERIOR			MOBILGREAS EXHP 222	LI-2-220-M-G3	4,67	REENGRASAR
5		CHOMACER A INFERIOR			MOBILGREAS EXHP 222	LI-2-220-M-G3	4,67	REENGRASAR
6-7		CADENA BANDA TRANSP.			TELLUS S2M 46	HY-46-M-G1-AW	12,5LT	REVISARY AJUSTAR

4 Resultados

Al momento de realizar los cálculos referentes a cantidad y frecuencia, donde cada uno de los rodamientos fue descrito según el tipo y los aspectos que comprenden el modo de operación, las *calculadoras de NORIA* se usaron en cada uno de los rodamientos de los equipos, donde se determina la frecuencia de relubricación en horas y a su vez la cantidad de grasa a aplicar en gramos. Con esto, se determina la cantidad final de relubricación con la afinación de la cantidad de grasa y las horas de reengrase, y así poder determinar los intervalos más convenientes con el fin de moderar la carga en cuanto a las rutinas de lubricación en la planta de reciclaje semanalmente.

Tabla 10

Cantidad de grasa y frecuencia de relubricación según NORIA para algunos rodamientos

Equipo	Descripción	MEDIDAS RODAMIENTO [d-D-B]	TEMP. [°C]	HUMED.	CONT.	VIBRAC.	POSIC	TIPO ROD,	RP M	CANT. CALC. [GR]	FREC. CALC.[HR]	FREC. CALC [SEMANAS]
18	BANDA ALIMENTADORA DE BOTELLAS	60-110-65,1	27	<80	Lig. No	Medio	Horizontal	Bolas	6,5	36	1666922	52
20	ABRIDOR DE PACAS	75-130-73,3	31	80-90	Lig. No	Medio	Inclinado	Bolas	110	48	6046	36
123	VENTILADOR CENTRÍFUGA	55-120-29	51	80-90	Lig. No	Bajo	Horizontal	Cilíndricos	1450	17,4	3786,7	23
127	TRANSPORTADOR DE RODILLOS	50-90-51,6	32	80-90	Lig. No	Bajo	Horizontal	Bolas	7,5	23,22	2637865	52
140	BANDA DE ACELERACIÓN PRIMER SORTER	75-130-25	36	<80	Lig. No	Bajo	Horizontal	Bolas	200	16,25	77829	52
150	BANDA DE ACELERACIÓN SEGUNDO SORTER	75-130-25	36	<80	Lig. No	Bajo	Horizontal	Bolas	200	16,25	77829	52
170	BANDA DE SELECCIÓN MANUAL	35-72-42,9	29	<80	Lig. No	Bajo	Horizontal	Bolas	15,6	15,44	1515543	52
180	BANDA ACELERACIÓN TERCER SORTER	75-130-25	34	<80	Lig. No	Bajo	Horizontal	Bolas	210,1	16,25	73943	52
229	DESVIADOR PREVIO A MOLINOS	35-72-42,9	42	80-90	Lig. Abra	Medio	Horizontal	Bolas	1,5	15,44	2650168	52
232	LAVADORA CENTRÍFUGA DEL MOLINO NORTE	95-170-43	52	80-90	Sev. Abra	Medio	Horizontal	Cilíndricos	784,5	36,55	609	4

242	LAVADORA CENTRÍGUGA DEL MOLINO SUR	95-170-43	52	80-90	Sev. Abra	Medio	Horizontal	CILÍNDRICOS	784,5	36,55	609	4
273	VÁLVULA ROTATIVA	40-80-49,2	41	<80	Lig. No	Bajo	Horizontal	BOLAS	35	19,68	630855	52
286	MICROFILTRO	65-120-68,3	39	<80	Lig. No	Bajo	Horizontal	BOLAS	13,1	40,98	1322962	52

Es así como se registran los datos y se analiza la frecuencia por mes, se determina que los rodamientos con bajas cantidades mensuales de relubricación (entre 1 y 3 gramos a aplicar), para distribución de 43 tareas de relubricación y ser agendadas mensualmente. Las frecuencias de reengrase en rodamientos con cantidades mensuales media (entre 5 y 7 gramos a aplicar), son agendadas cada dos semanas, y corresponde a 22 tareas de relubricación. En cuanto a los rodamientos con frecuencia de reengrase mensual alta (entre 10 y 40 gr), se agendan semanalmente.

Tabla 11*Algunos rodamientos para lubricar mensualmente*

Equipo	Descripción	MEDIDAS RODAMIENTO [d-D-B]	TEMP. [°C]	HUMED.	CONT.	VIBRAC.	POSIC	TIPO ROD.	RPM	CANT. CALC. [GR]	FREC. CALC. [HR]	FREC. CALC [SEMANAS]	RELU BR. [GR/MES]
18	BANDA ALIMENTADORA DE BOTELLAS	60-110-65,1	27	<80	Lig. No	Medio	Horizontal	Bolas	6,5	36	1666922	52	3
123	VENTILADOR CENTRÍFUGA	55-120-29	51	80-90	Lig. No	Bajo	Horizontal	Cilíndricos	1450	17,4	3786,7	23	3
127	TRANSPORTADOR DE RODILLOS	50-90-51,6	32	80-90	Lig. No	Bajo	Horizontal	Bolas	7,5	23,22	2637865	52	2
140	BANDA DE ACELERACIÓN PRIMER SORTER	75-130-25	36	<80	Lig. No	Bajo	Horizontal	Bolas	200	16,25	77829	52	1
150	BANDA DE ACELERACIÓN SEGUNDO SORTER	75-130-25	36	<80	Lig. No	Bajo	Horizontal	Bolas	200	16,25	77829	52	1
170	BANDA DE SELECCIÓN MANUAL	35-72-42,9	29	<80	Lig. No	Bajo	Horizontal	Bolas	15,6	15,44	1515543	52	1
175	BANDA SEGUNDO DETECTOR DE METALES	55-100-21	32	<80	Lig. No	Bajo	Horizontal	Bolas	114,1	10,5	163247	52	1
180	BANDA ACELERACIÓN TERCER SORTER	75-130-25	34	<80	Lig. No	Bajo	Horizontal	Bolas	210,1	16,25	73943	52	1

229	DESVIADOR PREVIO A MOLINOS	35-72-42,9	42	80-90	Lig. Abra	Medio	Horizontal	Bolas	1,5	15,44	2650168	52	1
273	VÁLVULA ROTATIVA	40-80-49,2	41	<80	Lig. No	Bajo	Horizontal	Bolas	35	19,68	630855	52	2
286	MICROFILTRO EN ÁREA MOLIENDA	65-120-68,3	39	<80	Lig. No	Bajo	Horizontal	Bolas	13,1	40,98	1322962	52	3
290	VÁLVULA ROTATIVA ENTREGA SEPARADOR DE ETIQUETAS	50-90-23	41	<80	Lig. No	Bajo	Horizontal	Bolas	26	10,35	759500	52	1
446	VENTILADOR CENTRÍFUGO	45-100-25	46	<80	Lig. No	Bajo	Horizontal	Cilíndricos	1045	12,5	9086	52	1
576	VÁLVULA ROTATIVA DESPUÉS DE SEPARADOR MAGNÉTICO	50-90-23	38	<80	Sev. No	Bajo	Horizontal	Bolas	26	10,35	759500	52	1
814	VÁLVULA ROTATIVA SILO DE MEZCLA 1	50-90-23	38	<80	Sev. No	Bajo	Horizontal	Bolas	26	10,35	759500	52	1
824	VÁLVULA ROTATIVA SILO DE MEZCLA 2	50-90-23	38	<80	Sev. No	Bajo	Horizontal	Bolas	26	10,35	759500	52	1
834	VÁLVULA ROTATIVA SILO DE MEZCLA 3	50-90-23	38	<80	Sev. No	Bajo	Horizontal	Bolas	26	10,35	759500	52	1
877	VÁLVULA ROTATIVA DESPUÉS DE TORNILLO SIN FÍN ELUTRADORES	50-90-23	38	<80	Lig. No	Bajo	Horizontal	Bolas	26	10,35	759500	52	1
944	VÁLVULA ROTATIVA SORTER TOMRA	40-90-23	38	<80	Lig. No	Bajo	Horizontal	Bolas	38	10,35	580925	52	1
958	VÁLVULA ROTATIVA SORTER UNISENSOR	40-90-23	38	<80	Lig. No	Bajo	Horizontal	Bolas	38	10,35	580925	52	1

Tabla 12*Algunos rodamientos para lubricar cada dos semanas*

Eq.	Descripción	MEDIDAS RODAMIENTO [d-D-B]	TEMP. [°C]	HUM.	CONT.	VIBRACION.	POSICION.	TIPO ROD.	RPM	CANT. CALC. [GR]	FREC. CALC. [SEMANAS]	RELUBR. [GR/SEMANA]	RELUBR. [GR/15EN A]
20	ABRIDOR DE PACAS	75-130-73,3	31	80-90	Lig. No	Medio	Inclinado	BOLAS	110	48	36	1,3	3
430	TANQUE DE SEPARACION EN AREA DE LAVADOR	120-215-58	36	80-90	Lig. No	Bajo	Horizontal	BOLAS	19,5	62,35	52	1,2	2
443	SECADOR CENTRIFUGO VERTICAL	55-100-55,6	32	80-90	Lig. No	Bajo	Vertical	BOLAS	1045	27,8	20	1,4	3
455	LAVADORA CENTRIFUGA PARA REACTORES DE ENJUAGUE	95-170-43	46	80-90	Lig. No	Bajo	Horizontal	CILINDRICO S	1050	36,55	21	1,8	4
463	LAVADORA CENTRIFUGA DESPUES DE	95-170-43	56	80-90	Lig. No	Bajo	Horizontal	CILINDRICO S	1050	36,55	21	1,8	4

	REACTORES DE ENJUAGUE												
473	CENTRÍFUGA VERTICAL-ENTREGA DE FINOS	55-100-55,6	32	80-90	Lig. No	Bajo	Vertical	BOLAS	1045	27,8	20	1,4	3
534	VENTILADOR CENTRÍFUGO SECADOR DE LECHO FLUIDIZADO	55-120-29	48	<80	Sev. No	Bajo	Horizontal	CILÍNDRICOS	1045	17,4	10	1,8	4

Tabla 13*Algunos rodamientos para lubricar cada semana*

Equipo	Descripción	MEDIDAS RODAM. [d-D-B]	TEMP. [°C]	HUMED.	CONT.	VIBRAC.	POSIC	TIPO ROD,	RPM	CANT. CALC. [GR]	FREC. CALC. [HR]	FREC. CALC [SEMANAS]	RELU BR. [GR/SEMANA]
232	LAVADORA CENTRÍFUGA DEL MOLINO NORTE	95-170-43	52	80-90	Sev. Abra	Medio	Horizontal	Cilíndricos	784,5	36,55	609	4	10
234	SOPLADOR CENTRÍFUGO MOLINO NORTE	50-110-27	61	80-90	Sev. Abra	Medio	Horizontal	Cilíndricos	1450	14,85	489	3	5
242	LAVADORA CENTRÍFUGA DEL MOLINO SUR	95-170-43	52	80-90	Sev. Abra	Medio	Horizontal	Cilíndricos	784,5	36,55	609	4	10
244	SOPLADOR CENTRÍFUGO MOLINO SUR	50-110-27	61	80-90	Sev. Abra	Medio	Horizontal	Cilíndricos	1450	14,85	489	3	5
380	SECADOR CENTRÍFUGO	130-230-64	56	80-90	Lig. No	Medio	Horizontal	Cilíndricos	1080	73,6	1296	8	10

510	SECADO R CENTRÍ FUGO	130-230-64	51	80-90	Lig. No	Medio	Horizontal	Cilíndricos	1080	73,6	1296	8	10
-----	-------------------------------	------------	----	-------	---------	-------	------------	-------------	------	------	------	---	----

Así, hay manera de distribuir mejor las tareas de lubricación, incluso habría la posibilidad de cargar dicha información al software de mantenimiento – AM – y darle fecha de inicio al programa para diferentes equipos según se quiera distribuir las cargas de las tareas por semana.

De los equipos que requieren lubricación en la planta de reciclaje de botellas PET en la compañía ENKA DE COLOMBIA S.A, se requiere realizar el estudio de lubricación en 43 de 133 máquinas que se desempeñan allí, porque a partir de los cálculos realizados arrojaron que la grasa usada no conviene en la lubricación de los rodamientos, da como resultado un estado de lubricación “inadecuada”; por lo que se procede a hacer un análisis de la factibilidad de corregir totalmente la grasa a aplicar, o parcialmente hacer uso de otra grasa por disponibilidad en la empresa e incluso para ser adquirido con el proveedor de lubricantes en el área metropolitana.

Tabla 14

Algunos equipos a realizar el estudio de lubricación por lubricación inadecuada

Equipo	Descripción	MEDIDAS RODAMIENTO [d-D-B]	d [mm]	D [mm]	dm = 0.5 (d+D) [mm]	Visc. Real v	Visc. Nom. v1	k= v/v1	Estado de Lubricación
18	BANDA ALIMENTADORA DE BOTELLAS	60- 110-65,1	60	110	85	490	900	0,544	Inadecuada
20	ABRIDOR DE PACAS	75-130-73,3	75	130	102,5	480	90	5,333	Inadecuada
123	VENTILADOR CENTRÍFUGA	55-120-29	55	120	87,5	130	11	11,82	Inadecuada
127	TRANSPORTADOR DE RODILLOS	50-90-51,6	50	90	70	400	1000	0,4	Inadecuada

140	BANDA DE ACELERACIÓN PRIMER SORTER	75-130-25	75	130	102,5	250	45	5,556	Inadecuada
150	BANDA DE ACELERACIÓN SEGUNDO SORTER	75-130-25	75	130	102,5	250	45	5,556	Inadecuada
170	BANDA DE SELECCIÓN MANUAL	35-72-42,9	35	72	53,5	480	650	0,738	Inadecuada
175	BANDA SEGUNDO DETECTOR DE METALES	55-100-21	55	100	77,5	400	95	4,211	Inadecuada
180	BANDA ACELERACIÓN TERCER SORTER	75-130-25	75	130	102,5	250	40	6,25	Inadecuada
229	DESVIADOR PREVIO A MOLINOS	35-72-42,9	35	72	53,5	200	1000	0,2	Inadecuada
232	LAVADORA CENTRÍFUGA DEL MOLINO NORTE	95-170-43	95,0	170,0	132,5	70	15	4,667	Inadecuada
234	SOPLADOR CENTRÍFUGO MOLINO NORTE	50-110-27	50,0	110,0	80	80	12	6,667	Inadecuada
242	LAVADORA CENTRÍFUGA DEL MOLINO SUR	95-170-43	95,0	170,0	132,5	70	15	4,667	Inadecuada
244	SOPLADOR CENTRÍFUGO MOLINO SUR	50-110-27	50,0	110,0	80	80	12	6,667	Inadecuada
269	VENTILADOR CENTRÍFUGO SEPARADOR DE ETIQUETAS	65-140-33	65	140	102,5	220	10	22	Inadecuada
273	VÁLVULA ROTATIVA	40-80-49,2	40,0	80,0	60	210	350	0,6	Inadecuada
286	MICROFILTRO EN ÁREA MOLIENDA	65-120-68,3	65	120	92,5	210	600	0,35	Inadecuada

290	VÁLVULA ROTATIVA ENTREGA SEPARADOR DE ETIQUETAS	50-90-23	50	90	70	210	400	0,525	Inadecuada
380	SECADOR CENTRÍFUGO	130-230-64	130,0	230,0	180	50	11	4,545	Inadecuada
384	VENTILADOR SECADOR CENTRÍFUGO	50-110-27	50,0	110,0	80	170	14	12,14	Inadecuada
430	TANQUE DE SEPARACIÓN EN ÁREA DE LAVADOR	120-215-58	120,0	215,0	167,5	250	350	0,714	Inadecuada
443	SECADOR CENTRÍFUGO VERTICAL	55-100-55,6	55	100	77,5	400	14	28,57	Inadecuada
446	VENTILADOR CENTRÍFUGO	45-100-25	45,0	100,0	72,5	170	15	11,33	Inadecuada
455	LAVADORA CENTRÍFUGA PARA REACTORES DE ENJUAGUE	95-170-43	95,0	170,0	132,5	80	10	8	Inadecuada
463	LAVADORA CENTRÍFUGA DESPUÉS DE REACTORES DE ENJUAGUE	95-170-43	95,0	170,0	132,5	50	10	5	Inadecuada
473	CENTRÍFUGA VERTICAL- ENTREGA DE FINOS	55-100-55,6	55	100	77,5	400	14	28,57	Inadecuada

Al momento de hacer el análisis de optimización de grasa, permite darse cuenta de que en ciertos equipos la grasa aplicada no es la conveniente por la forma de trabajo del rodamiento, por lo que se hace uso de los diagramas dados por la compañía *SKF* en su libro de rodamientos. Allí, se usan los datos extraídos y se pretende hallar la grasa con mejor desempeño y adecuada para su uso. Es así, como resultante de este análisis, se da que se recomiendan ciertas viscosidades de

grasas para ciertos equipos, y lo que se hizo fue recoger la información de los rodamientos con falla en el tipo de lubricante, hay una variedad en las viscosidades requeridas, como sigue:

Tabla 15

Viscosidades requeridas por la maquinaria según el estudio de lubricación

VISCOSIDAD ISO VG	CANTIDAD DE COMPONENTES QUE LO REQUIERE
32	2
46	3
68	7
100	33
220	5
320	14
460	14
1000	1

Se tiene que en 79 componentes de los 43 equipos con lubricación inadecuada se debe hacer un cambio de lubricante a proveer, y entre ellos, se recomiendan 8 viscosidades diferentes, por lo que se hace un estudio de disponibilidad de grasa, lo que conlleva es que los lubricantes con viscosidad igual o menor a 100 se aplicarán una grasa de esta viscosidad (ISO VG 100), como lo es la *MOBILITH SHC 100* que ya es existente la compañía, ya que es la grasa con la cual se lubrican los rodamiento de los motores; consiguiente a esto, en los equipos donde se decide continuar la lubricación con grasa de viscosidad ISO VG 220 sigue el programa de lubricación por el tipo de grasa aplicada *MOBILGREASE XHP 222*, es por su cercanía al valor deseado de la relación de viscosidad; así, los equipos que requieren grasa con viscosidad ISO VG 320, 460 o 1000, se decide unificar estas grasas, por lo que se plantea se haga uso de la rasa con viscosidad ISO VG 460; las grasas aplicadas según fabricante recomiendan los lubricantes de MOBIL, se opta por buscar un lubricante de esta misma compañía, donde se determina sea una grasa *MOBILGREASE XHP 462*, por temas de adquisición con el proveedor, además de sus propiedades que se asemejan a la grasa que estaban usando como el espesante, tipo de aceite base y grado de consistencia. Se debe prestar gran atención en la apreciación visual de la grasa, ya que al tener la

misma coloración que la grasa puede generar confusiones, por lo que se requiere llevar un plan de lubricación regulado y medurado.

Toda esta información se actualiza en las cartas de lubricación, donde ilustrativamente se plantean los puntos de lubricación numerados y distinguidos por el color de lubricante según su viscosidad ISO VG, determinando el método de lubricación, descripción del componente, la grasa a usar, código ISO, frecuencia y cantidad.

Figura 29
 Carta de lubricación para la banda alimentadora según los estudios de lubricación

enka		CARTA DE LUBRICACION		DIN 51502				
CARTA No. 1	018/BANDA ALIMENTADORA DE BOTELLAS	RUTA 43-9 SOREMA						
PU NT OS	METODO DE LUBRICA CION	MECANIS MO A LUBRICAR	COMPONEN TE	FRECUEN CIA	LUBRICANTE	CÓDIGO LUBRICANTE	CANT g/Lt	TAREA
1		REDUCTOR		■	MOBILGEAR XMP 320	GW-320-M-G3	4,7LT	REVISARY AJUSTAR
2		CHUMACER A SUPERIOR		■	MOBILCENTA UR XHP 461	CS-2-460-S-PAQ	3	REENGRA SAR
3		CHUMACER A SUPERIOR		■	MOBILCENTA UR XHP 461	CS-2-460-S-PAQ	3	REENGRA SAR
4		CHUMACER A INFERIOR		■	MOBILCENTA UR XHP 461	CS-2-460-S-PAQ	3	REENGRA SAR
5		CHUMACER A INFERIOR		■	MOBILCENTA UR XHP 461	CS-2-460-S-PAQ	3	REENGRA SAR
6-7		CADENA BANDA TRANSP		◆	TELLUS S2M 46	HY-46-M-G1-AW	12,5LT	REVISARY AJUSTAR

6 Conclusiones

- Al hacer el estudio de lubricación para la planta de reciclaje de botellas PET en *Enka de Colombia S.A.*, se evidencia que el fabricante efectivamente recomienda unas rutinas de relubricación con cantidades más altas, hay una disminución de grasa a aplicar en cerca de 50,48%. Y la corrección de grasa por lubricación inadecuada se hace en el 54% de los equipos de la planta.
- La grasa aplicada en los rodamientos de las chumaceras pasó de ser de la cantidad de 2 grasas con grado de viscosidad, como la ISO VG 95 y la grasa con viscosidad ISO VG 220; a ser la cantidad de 3 grasas con viscosidades ISO VG 100, ISO VG 220 y ISO VG 460.
- El software de mantenimiento – *AM* – permite llevar mayor control de la ruta de lubricación para la planta, donde se introduce toda la información necesaria para la planeación y la descripción del procedimiento, y así facilitar la ejecución de este. También se puede actualizar y refinar con el fin que todo esté alineado a conveniencia para que la cantidad de tareas de lubricación esté regulada.
- Los factores que más afectan la lubricación de una planta de reciclaje PET son: La temperatura, el nivel de contaminación, la humedad, la vibración del componente, la posición del eje y el tipo de rodamiento; puesto que son causantes de deterioro no sólo de la grasa, sino también del componente y por ende de la máquina. Estos factores sumados al tamaño del rodamiento y las revoluciones por minuto permiten caracterizar las necesidades de lubricación y así determinar las frecuencias y cantidad de reengrase.

Referencias

- Siddique, R. Khan, M. F. (2019). *Effect of lubricant on performance and longevity of mechanical components. Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 13(3), 5193-5203.
- Fitch, C. Scott, R. (2013). *Inspecciones diarias de lubricación en un minuto y pruebas de campo*. <https://issuu.com/noriavirtual/docs/id1m>
- Garcia, M. (2019). Rodamientos rígidos de bolas. *Rodamientos*, 266–267.
- González Márquez, M. (2020). Universidad de Guadalajara. Retrieved from <https://www.udg.mx/es/noticia/planta-de-reciclado-de-plastico-y-pet-de-la-udeg-la-vanguardia-en-cuidado-del-medio-ambiente>
- Bottles, P. E. T., & Plant, R. (2022). LUBRIFICANTI ALLO START-UP.
- Noria Latín América. (2015). *Cálculo de la cantidad de grasa y de la frecuencia de re-engrase*. Retrieved from <https://noria.mx/lublearn/calculo-de-la-cantidad-de-grasa-y-de-la-frecuencia-de-re-engrase/>
- Olipes. (s.f.). *GRASAS LUBRICANTES: CLASIFICACIÓN DIN 51502 E ISO 6743-9*. Retrieved from <https://www.olipes.com/eu/es/Comunicación/documentos-de-interes/grasas-lubricantes-clasificacion-din-51502-e-iso-6743-9>
- Noria Latín América. (2013). *LIS – Un Nuevo Sistema de Identificación de Lubricantes*. Retrieved from <https://noria.mx/lublearn/lis-un-nuevo-sistema-de-identificacion-de-lubricantes/>