

DETERMINACIÓN ESPECIFICACIÓN COF DE *FILM*

Determinación del rango de especificación de los coeficientes de fricción del *film* de enfiado apropiados para el proceso de empaque en la fábrica Nestlé Purina PetCare de Colombia

Leslly Nayeli Camacho Romero
Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniera Química
Modalidad práctica empresarial

Directora
Viviana Sánchez Torres
Doctora en Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físicoquímicas
Escuela de Ingeniería Química
Bucaramanga
Año 2024

Dedicatoria

En primer lugar, a Dios por brindarme siempre sabiduría y conocimiento en este camino, por sostenerme siempre en cada momento difícil y darme la fuerza para continuar a diario.

A mis papás, Nancy y Norvey por cada día brindarme amor, palabras de aliento y esfuerzo para darme siempre lo mejor, este esfuerzo es por ustedes y por cada uno de los días que dejaron de hacer sus cosas para brindarme lo mejor, también por siempre darme el ejemplo de disciplina, resiliencia y valentía, lo cual fue indispensable para mí en este proceso. A ellos por ser mi gran inspiración y motivación, sin ustedes este logro no sería posible

A mi hermana porque siempre ha estado ahí con una sonrisa y por siempre darme fuerzas y ser mi motor para seguir adelante.

A mi mami Anita por siempre sentirse orgullosa de mí, estar pendiente de mi bienestar y sobre todo por cada una de sus oraciones.

A mis amigos quienes me acompañaron en este proceso en sus distintas etapas, sin su amor, escucha, empatía, risas y apoyo incondicional no lo hubiese logrado, se han convertido ustedes en parte de mi familia y parte de este proceso tan importante en mi vida.

Agradecimientos

Primeramente, a Dios por darme siempre guiarme para seguir adelante, a mis padres, mi familia, a cada uno de los docentes que me encontré en el camino y me ayudaron a crecer profesionalmente con sus conocimientos, a mi directora de tesis, la profesora Viviana por su guía y comprensión, a Nestlé Purina por permitirme realizar mis prácticas y afianzar mis conocimientos y a mis compañeros de trabajo que con su paciencia, sabiduría, comprensión y enseñanzas me ayudaron a crecer tanto profesional como personalmente.

Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| Introducción | 11 |
| 1. Objetivos | 12 |
| 1.1 Objetivo general | 12 |
| 1.2 Objetivos específicos | 12 |
| 2. Marco conceptual | 13 |
| 2.1 Polietileno de baja densidad | 13 |
| 2.2 Proceso de enfardado | 13 |
| 2.2.1 Enfardadora Tecnotok | 16 |
| 2.2.2 Enfardadora Raumak | 17 |
| 2.3 Equipo de prueba de deslizamiento (Slip/peel tester) | 18 |
| 2.4 Coeficiente de fricción | 18 |
| 3. Descripción metodológica | 20 |
| 3.1 Primera Etapa | 20 |
| 3.1.1 Revisión bibliográfica | 20 |
| 3.1.2 Preparación de la muestra | 20 |
| 3.2 Segunda Etapa | 21 |
| 3.2.1 Estimación del COF en el laboratorio | 21 |

DETERMINACIÓN ESPECIFICACIÓN COF DE *FILM*

| | |
|---|----|
| 3.2.1.1 Acondicionamiento de la muestra | 21 |
| 3.2.1.2 Funcionamiento del equipo | 22 |
| 3.2.2 Pruebas del film en las enfiardadoras | 22 |
| 3.3 Tercera Etapa | 23 |
| 4. Resultados | 23 |
| 4.1 Revisión Bibliográfica | 23 |
| 4.2 Caracterización del proceso de enfiardado | 24 |
| 4.3 Mediciones coeficientes de fricción | 26 |
| 4.3 Matriz de funcionamiento | 28 |
| 5. Conclusiones | 31 |
| 6. Recomendaciones | 32 |
| Referencias bibliográficas | 33 |
| Apéndices | 35 |

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Matriz de funcionamiento enfundadoras | 29 |
|--|----|

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1.Fardos | 14 |
| Figura 2. Estibas..... | 15 |
| Figura 3.Diagrama de empaque | 15 |
| Figura 4.Enfardadora Tecnotok | 16 |
| Figura 5. Enfardadora Raumak | 17 |
| Figura 6. Etapas metodológicas del proyecto | 20 |
| Figura 7. Equipo IMASS | 21 |
| Figura 8.Montaje lámina de film | 22 |
| Figura 9.Problemática presente en las enfardadoras | 24 |
| Figura 10.Porcentaje de deslizamiento por tipo de film | 25 |
| Figura 11.Frecuencia de deslizamiento de los fardos | 25 |
| Figura 12.Valores coeficientes de fricción externo..... | 27 |
| Figura 13. Valores coeficientes de fricción interno..... | 28 |

Lista de anexos

| | |
|---|----|
| Anexo A.Formato entrevista operadores..... | 35 |
| Anexo B.Protocolo de manejo equipo IMASS SLIP- 2001 | 35 |

Resumen

Título: Determinación del rango de especificación de los coeficientes de fricción del *film* de enfardado apropiados para el proceso de empaque en la fábrica Nestlé Purina PetCare de Colombia*

Autor: Leslly Nayeli Camacho Romero**

Palabras clave: coeficiente de fricción, enfardadora, film, polietileno,PEBD

Nestlé Purina Pet Care de Colombia es una empresa dedicada a la producción y comercialización de alimentos para mascotas (perros y gatos). Durante el desarrollo de la práctica se logró evidenciar que en el área de empaque se estaba presentando deslizamiento entre fardos lo cual afecta de forma directa la estabilidad de la estiba. Por este motivo esta investigación aborda el análisis del coeficiente de fricción tanto interno como externo de diferentes muestras de *film* (película de polietileno de baja densidad PEBD) de enfardado para determinar su rango apropiado de especificación. En el desarrollo de la práctica se realizaron varias entrevistas semiestructuradas para poder definir la situación actual del proceso, posteriormente se efectuaron pruebas de rendimiento en las enfardadoras para observar su comportamiento y caracterización de los valores del coeficiente de fricción tanto interno como externo de 20 muestras de *film*, de las cuales por medio del equipo de prueba de deslizamiento con condiciones de velocidad de 15 cm/min, duración de la prueba de 50 s y recorrido de 13 cm de la muestra. Se encontró que para el coeficiente interno el 55% de las muestras estaban en un rango de 0,16 a 0,20 y su rendimiento en las enfardadoras fue adecuado, de igual forma, para el coeficiente de fricción externo se encontró que el 50% de las muestras estaban en un rango de 0,19 a 0,24 mostrando un comportamiento estable en el proceso. Por lo tanto, se definen estos rangos como los adecuados para el funcionamiento de los films.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Ingeniera Química. Ph.D. Viviana Sánchez Torres.

Summary

Title: Determination of the specification range of the coefficients of friction of the wrapping film appropriate for the packaging process in the Nestlé Purina Pet Care factory in Colombia*

Author: Leslly Nayeli Camacho Romero**

Keywords: coefficient of friction, wrapping machine, film, polyethylene, LDPE

Nestlé Purina Pet Care de Colombia is a company dedicated to the production and marketing of pet food (dogs and cats). During the development of the practice it was possible to show that in the packaging area it was gradually occurring between bales which directly affects the stability of the stacking. For this reason this research addresses the analysis of the coefficient of friction both internal and external of different samples of film (low density polyethylene film) for baling to determine its appropriate specification range. During the development of the practice several semi-structured interviews were conducted to define the current situation of the process, later performance tests were carried out on the balers to observe their behavior and characterization of the values of the coefficient of friction both internal and external of 20 film samples, of which by means of the small size test equipment with speed conditions of 15 cm/min, test duration of 50 s and distance of 13 cm of the sample. It was found that for the internal coefficient, 55% of the samples were in a range of 0.16 to 0.20 and their performance in the balers was adequate. Likewise, for the external friction coefficient, it was found that 50% of the samples were in a range of 0.19 to 0.24, showing stable behavior in the process. Therefore, these ranges are defined as adequate for the operation of the films.

* Degree Project

** Faculty of Physicochemical Engineering. School of Chemical Engineering. Director: Chemical Engineer. Ph.D. Viviana Sánchez Torres

Introducción

Nestlé Purina PetCare S.A es una empresa ubicada en 62 países con una trayectoria de más de 80 años en el sector de alimentos para mascotas. En sus inicios la empresa era llamada Ralston Purina solo fue hasta el 2001 que esta fue comprada por Nestlé los dos negocios se fusionaron bajo la marca Purina expandiéndose a través del mundo con una amplia variedad de productos para el cuidado y nutrición de las mascotas. Dentro de sus pilares más importantes destaca la calidad tanto para las materias primas las cuales deben cumplir con diferentes políticas de saneamiento y prácticas de fabricación, así como para el producto final ya que en su cadena de producción pasa por diferentes filtros de calidad antes de llegar al consumidor final.

Colombia cuenta con una fábrica la cual está ubicada en el Kilómetro 18 vía Mosquera Occidente, esta cuenta con un amplio portafolio con marcas como: Pro Plan, Excellent, Dog Chow, One, Alpo, Felix, Fancy Feast, Cat Chow y Dentalife. Sin embargo, solo algunas de estas son fabricadas en Colombia y las demás son importadas.

En la actualidad el material que se utiliza para enfardar los empaques de alimento para mascota es el polietileno, es importante destacar que este es un material plástico compuesto únicamente por carbono e hidrógeno, siendo su unidad repetitiva $-(CH_2-CH_2)_n-$ proveniente del etileno (Shah et al., 2008). Para el caso en estudio se utiliza el polietileno de baja densidad el cual se caracteriza por ser un polímero resistente y flexible (Brown, et al., 2007).

Una de las propiedades que más influye en el adecuado funcionamiento de este material es el coeficiente de fricción (COF), el cual se mide en el interior y el exterior de la lámina porque ambos lados se deslizan sobre las partes metálicas de la máquina enfardadora, dependiendo de la

DETERMINACIÓN ESPECIFICACIÓN COF DE *FILM*

presión podría cambiar sus propiedades. Varias máquinas de enfardado requieren diferentes propiedades de *film* (Mensitieri, 2013).

Actualmente, el proceso de enfardado presenta un problema en común y es que en el arrume no está siendo eficiente debido a que está presentando deslizamiento entre fardos, haciendo que estos se caigan y de esta manera causen un impacto negativo en la producción y eficiencia del proceso. Para ello, es necesario investigar y determinar la condición adecuada de coeficiente de fricción para este *film*, por lo que surge la necesidad de responder a la siguiente pregunta: ¿Cuál es el rango de especificación adecuado de coeficiente de fricción tanto interno como externo para el film de enfardado?

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Establecer el rango de especificación apropiado de los coeficientes de fricción interno y externo del *film* de enfardado, para el proceso de empaque en la fábrica Nestlé Purina PetCare de Colombia.

1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el proceso actual de enfardado de alimento seco para mascotas, a partir de entrevistas semiestructuradas a operarios.
- Determinar los coeficientes de fricción para diferentes muestras de *film*
- Diseñar una matriz que permita validar las condiciones óptimas de calidad de arrume de la enfardadora.

2. Marco conceptual

Los envases para alimentos pueden ser primarios, secundarios o terciarios, para el trabajo actual nos enfocamos en los envases secundarios los cuales son el material presente fuera del embalaje primario y que se utiliza para agrupar paquetes primarios como es el caso del *film* utilizado para los fardos (Cozzarin et al., 2022).

2.1 Polietileno de baja densidad

Los polietilenos con una densidad dentro del rango de 0.915-0.934 g/cm³ se definen como polietilenos de baja densidad (PEBD). Las principales características que lo convierten en una materia prima atractiva para la industria de empaques son: su peso ligero, bajo costo, flexibilidad, dureza y resistencia química, tienen un punto de fusión bajo (105 a 115 °C) y no requiere demasiada potencia en el motor del extrusor (De la Rosa Ivan Adolfo, 2012).

2.2 Proceso de enfardado

El enfardado es una técnica en donde una delgada capa de plástico denominada *film* envuelve a varios paquetes de producto formando un fardo, que posteriormente son arrumados sobre una estiba para ser almacenados. Mediante el enfardado es posible atar con seguridad productos y/o protegerlos contra caídas, daños o la acumulación de polvo durante los procesos de transporte y almacenamiento. Para la fábrica Nestlé Purina es indispensable entregar un producto que cumpla con sus estándares de calidad siendo el empaque un pilar fundamental, para asegurar esto el *film* está fabricado con polietileno de baja densidad PEBD y se usa para enfardar algunas referencias de alimento para mascotas el cual es elegido por su flexibilidad, suavidad al tacto, su brillo y resistencia, adicionalmente es el material plástico que más se recicla (Quispe,2017).

DETERMINACIÓN ESPECIFICACIÓN COF DE *FILM*

La fábrica Nestlé Purina cuenta con tres tipos de *films*, transparente (*film A*), blanco (*film B*) y transparente con franja blanca (*film C*).

Una enfardadora es una máquina utilizada para comprimir y empaquetar materiales a granel en paquetes de plástico rectangulares compactos conocidos como *fardos*, como se observa en la figura 1. Su función es envolver los productos para facilitar su manipulación, almacenamiento y traslado sobre plataformas portátiles de madera.

Figura 1.

Fardos



Estos fardos se organizan en niveles o camas con un determinado número de estos, lo cual se denomina estiba como se observa en la figura 2, esto permite agrupar paquetes de gran volumen y peso. Adicionalmente, según la cantidad de niveles y número de fardos que posea, se deben adicionar láminas de cartón entre los niveles para asegurar la estabilidad de la estiba. Sin embargo, cuando la estiba está presentando inestabilidad se adicionan más de estas láminas (Rafael & Bansaid, 2008).

DETERMINACIÓN ESPECIFICACIÓN COF DE FILM

Figura 2.

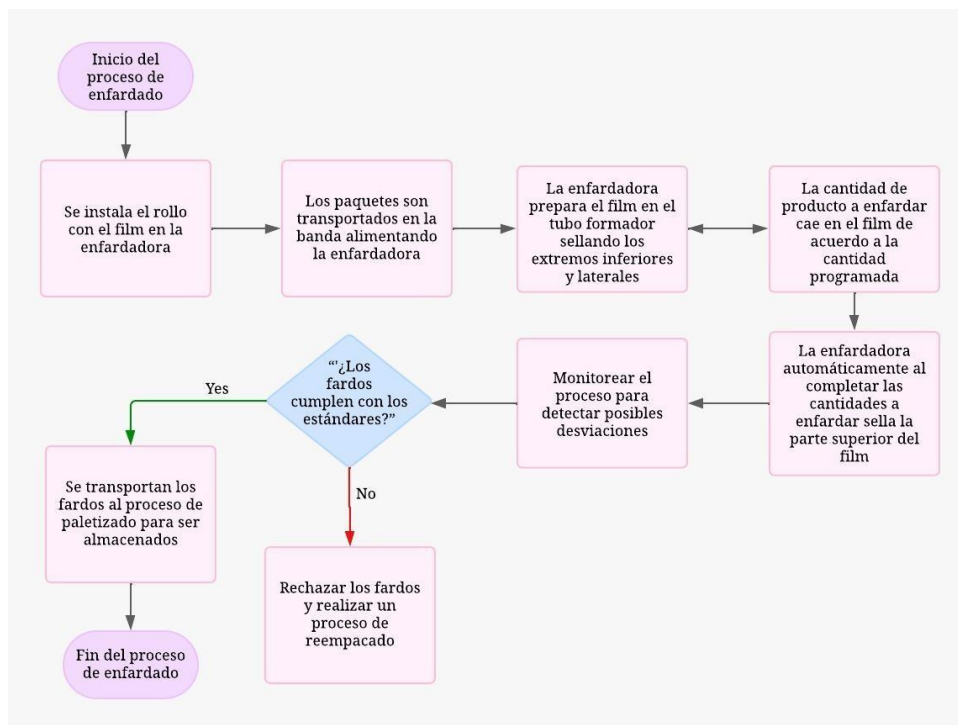
Estibas



Actualmente el proceso de enfiado de la fábica se puede observar en la figura 3 y cuenta con dos tipos de enfiadora: Tecnotok y Raumak

Figura 3.

Diagrama de empaque



2.2.1 Enfardadora Tecnotok

Es una enfardadora automática vertical, como se puede observar en la figura 3, la cual puede envasar paquetes hasta de 30 kg. En términos generales, el funcionamiento de una enfardadora Tecnotok involucra los siguientes pasos:

1. Alimentación del material: El material a enfardar se introduce en la enfardadora, ya sea de forma manual o mediante un sistema automatizado de alimentación.
2. Compresión: La máquina aplica presión para comprimir el material y formar un fardo compacto.
3. Atado o sellado: Una vez formado el fardo, se procede a atarlo o sellarlo para mantener su forma y estabilidad.
4. Expulsión del fardo: El fardo compactado es expulsado de la máquina y está listo para su almacenamiento, transporte o procesamiento adicional (Tecnotok, 2023).

Figura 4.

Enfardadora Tecnotok



Nota. (Tecnotok,2023)

2.2.2 Enfardadora Raumak

Es una enfardadora automática vertical, la cual posee varias configuraciones de dosificadores, en ella es posible envasar paquetes de 10 g a 500 g, la velocidad adecuada a las características del producto y peso puede atender hasta 140 paquetes por minuto, su estructura se puede observar en la figura 4 la cual es en acero carbono con tratamiento especial anticorrosión, cuenta también con un accionamiento de la mordaza por servo motor (Raumak, 2022).

Figura 5.

Enfardadora Raumak



Nota. (Raumak, 2022)

2.3 Equipo de prueba de deslizamiento (Slip/peel tester)

Es un dispositivo utilizado para medir las propiedades de deslizamiento y pelado de materiales, especialmente en industrias como la de adhesivos y envasado. Estos dispositivos son capaces de realizar pruebas de pelado, liberación y coeficiente de fricción (COF) con precisión y fiabilidad, cumpliendo con las normativas y estándares relevantes de la industria (IMASS, s.f).

2.4 Coeficiente de fricción

Para el presente trabajo es importante tener claro la importancia de tener un excelente coeficiente de fricción en el *film* de envasado, el cual en la fábrica Nestlé Purina es llamado COF, ya que esto se traduce en productividad y eficiencia del proceso.

La fricción es la resistencia al deslizamiento o desplazamiento entre dos cuerpos que se

DETERMINACIÓN ESPECIFICACIÓN COF DE *FILM*

encuentran en contacto y está en dependencia de las características que presenten las superficies que están interactuando entre sí (Santos et al., 2017). El coeficiente de fricción es la relación entre la fuerza de rozamiento y la fuerza normal que comprime dos superficies entre sí (Fernández, 2015).

Los empaques flexibles que son utilizados en enfiardadoras deben tener un determinado coeficiente de fricción para que se deslicen en la máquina correctamente. El COF no tiene que ser ni muy bajo para que se deslice más de lo deseado, ni muy alto evitando que ambas superficies se deslicen, afectando la calidad del sello del producto final. (McKeen, 2012)

Teniendo en cuenta lo anterior garantizar un buen coeficiente de fricción impacta positivamente la productividad y garantiza los estándares de calidad en la fábrica.

Las condiciones en las cuáles se determina que un *film* presenta un buen desempeño son las siguientes:

- ✓ No presente deslizamiento en el proceso de armado de la estiba.
- ✓ Se deslice correctamente en el tubo formador de la enfiardadora.
- ✓ No sean agregadas láminas de cartón adicionales.
- ✓ Selle adecuado del fardo.

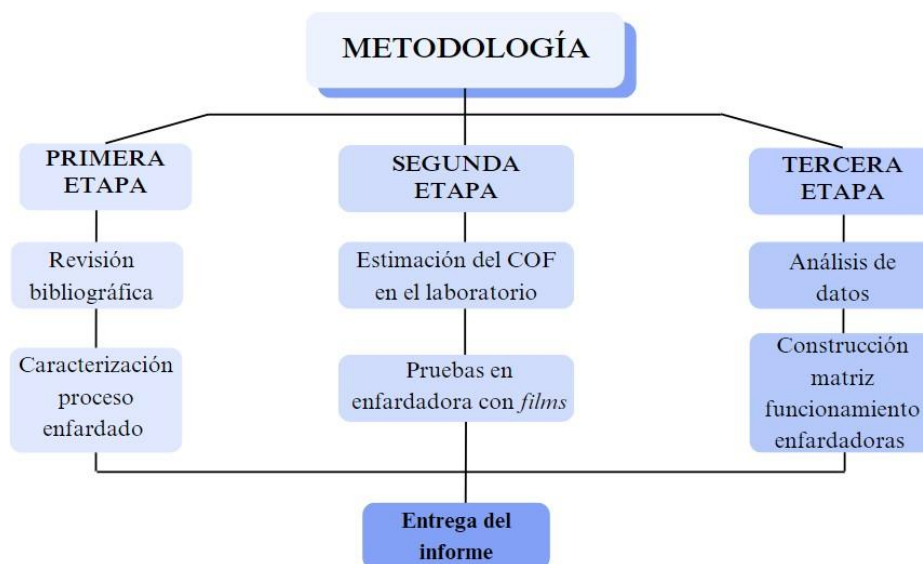
Si el *film* no cumple alguna de estas características se debe analizar e identificar la causa de su mal funcionamiento.

3. Descripción metodológica

La metodología aplicada en el proyecto se dividió en las etapas descritas a continuación:

Figura 6.

Etapas metodológicas del proyecto



3.1 Primera Etapa

3.1.1 Revisión bibliográfica

En esta fase se realiza una revisión bibliográfica sobre el polietileno de baja densidad, la influencia del coeficiente de fricción sobre el PEBD y todos los fundamentos teóricos para llevar a cabo el proyecto.

3.1.2 Preparación de la muestra

Se recolectaron muestras de 1m de largo y 30 cm de ancho de cada uno de los *films* que se manejan en el proceso.

DETERMINACIÓN ESPECIFICACIÓN COF DE *FILM*

3.1.3 Caracterización del proceso de enfiado

Se realizó una investigación en campo con los operarios de las enfiadoras para recolectar información sobre los problemas que se presentan, los tipos de *film* que presentan inconvenientes y caracterización del proceso de enfiado, para lo cual se diseñó una entrevista semiestructurada para una óptima recolección de información, la cual consistió en una entrevista verbal en la cual se realizaron 5 preguntas (anexo A) a seis operarios de las enfiadoras.

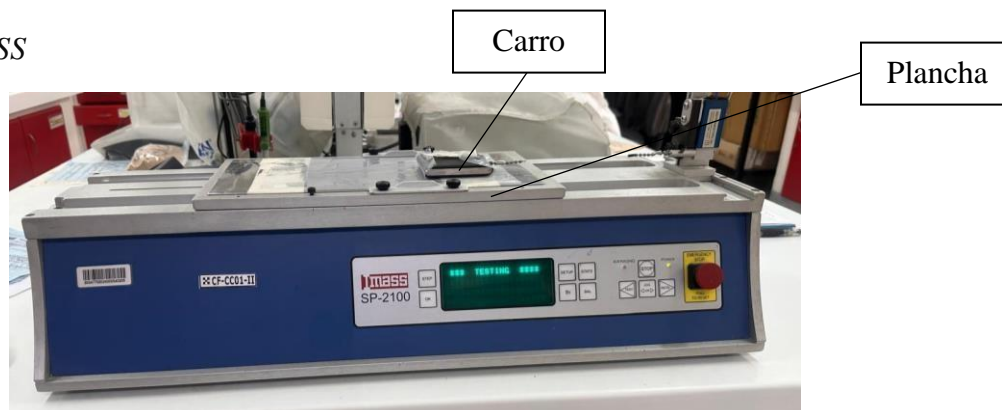
3.2 Segunda Etapa

3.2.1 Estimación del COF en el laboratorio

Para determinar el valor del COF, se empleó el equipo de prueba de deslizamiento IMASS SLIP-2100 el cual se puede observar en la figura 6.

Figura 7.

Equipo IMASS



Para llevar a cabo una correcta lectura se debe llevar a cabo la metodología brindada por el fabricante del equipo COMUNDIAL S.A (Anexo B).

3.2.1.1 Acondicionamiento de la muestra

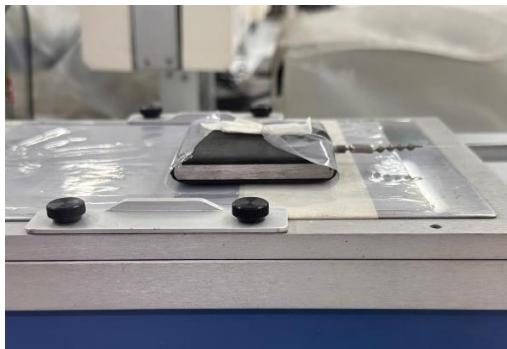
Teniendo ya la muestra de un metro se procede a recortar dos rectángulos de 6x12 pulgadas

DETERMINACIÓN ESPECIFICACIÓN COF DE *FILM*

cada uno. Posteriormente se pega una pieza a la plancha y otra pieza adyacente se envuelve alrededor del carro, el panel de prueba se sujeta a la plancha utilizando los ganchos del panel suministrados con el instrumento, como se observa en la figura 4.

Figura 8.

Montaje lámina de film



3.2.1.2 Funcionamiento del equipo

Se realizó la prueba en el equipo, el carro genera un arrastre realiza un recorrido de 30 cm a una velocidad de 15 cm/min y la fuerza que se ejerce es de 200 g, el tiempo de duración de la prueba es 50 s. Es importante tener en cuenta que las dos muestras tanto la que se pone en la plancha como la del carro deben tener el mismo *film* por el mismo lado, es decir interno-interno y así mismo con el externo.

3.2.2 Pruebas del film en las enfardadoras

Para este paso se montó en la enfardadora cada film (B y C) que se habían analizado en el laboratorio y se dejó trabajando de 10 a 15 minutos para observar su funcionamiento en el arrume y su eficiencia en el proceso. Se verifico el tipo de material, adicionalmente se anotó fue el funcionamiento de este *film* durante ese tiempo, es decir, si presentó deslizamiento, si fue necesario

DETERMINACIÓN ESPECIFICACIÓN COF DE *FILM*

detener la máquina para realizar ajustes, si se tuvo que añadir más láminas de cartón para tener más estabilidad o si funciono de manera adecuada. Esto se realizó para cada una de las muestras.

3.3 Tercera Etapa

En esta etapa se analizaron los datos recolectados en la etapa anterior para de esta forma definir cuál es el rango adecuado del coeficiente de fricción con el cual las enfiardadoras funcionan de forma óptima, buscando de esta manera disminuir problemas y tener un proceso más eficiente, para poder definir esto se realizó una matriz de evaluación en la cual se sintetiza en una tabla la información recolectada en la etapa anterior de la prueba en la enfiardado.

4. Resultados

4.1 Revisión Bibliográfica

Al validar los datos obtenidos y al contrastarlos con la información recopilada de los distintos autores, se identifica que los polímeros usados a nivel industrial tienen características y propiedades muy deseadas como por ejemplo su permeabilidad o transparencia.

El polietileno de baja densidad PEBD posee una cristalinidad del 40 – 60%, ofreciendo una buena resistencia al agua para proteger materiales que se envuelven con este polímero, además de ser un factor que facilita el análisis para la obtención de la propiedad adecuada del coeficiente de fricción.

Otros factores como el espesor de la película que oscila entre (20 μm – 60 μm) y la tensión ejercida sobre el PEBD, ayudan a determinar el comportamiento y la facilidad de deslizamiento entre dos superficies del mismo material, cabe resaltar que la estabilidad del COF sobre estas películas de PEBD ayuda a reducir desperdicios y reprocesos en actividades industriales donde sean usados, ya que un COF alto se traduce en arrugas y superficies del PEBD menos resbaladizas,

DETERMINACIÓN ESPECIFICACIÓN COF DE *FILM*

mientras que un COF bajo indica que las superficies son mas suaves y deslizantes, en ambos casos pueden ocasionar paradas de maquina y perdidas innecesarias, se debe garantizar que el valor de COF sea mayor a 0,1, sin embargo, un rango adecuado de trabajo para el COF interno es de 0,1 a 0,20 y de COF externo es de 0,20 a 0,3. Adicionalmente garantizar un COF con rango estable para todos sus lotes garantiza estabilidad en el proceso.

4.2 Caracterización del proceso de enfardado

Para la caracterización del proceso de enfardado, se llevó a cabo una entrevista semiestructurada a seis operarios responsables de esta tarea. A partir de sus respuestas, se obtuvo la siguiente información:

El 83% de los encuestados señaló que el principal problema en el proceso de enfardado es el deslizamiento de los fardos, lo cual impacta negativamente en la operación.

Figura 9.

Problemática presente en las enfardadoras

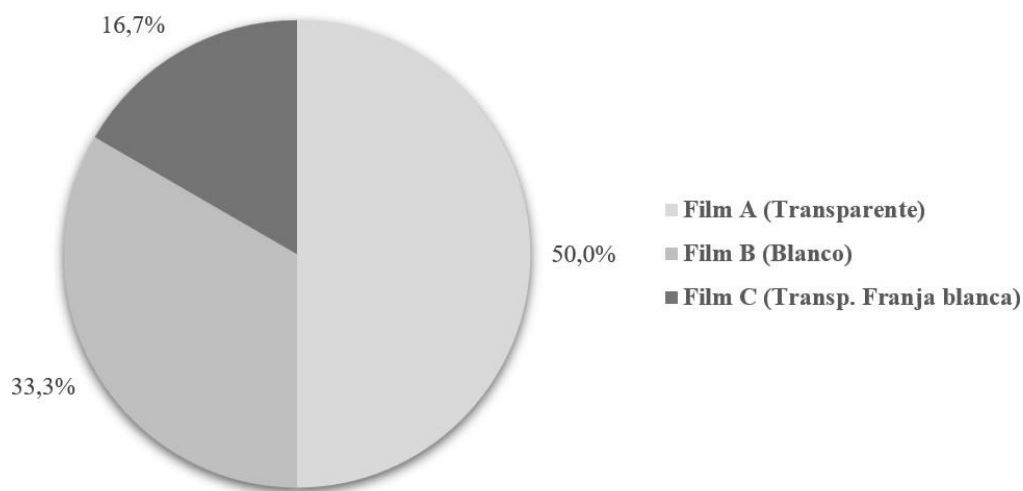


DETERMINACIÓN ESPECIFICACIÓN COF DE *FILM*

Así mismo, el 50% identificó que el tipo de *film* más propenso al deslizamiento es el *film* A, utilizado para empacar referencias pequeñas de (300 a 500 g). Sin embargo, tras consultar con el especialista en empaques, se determinó que este *film* se está reemplazando por el *film* C, para el cual, los operarios coinciden en que posee un buen rendimiento ya que presenta menores deslizamientos. De esta manera, el 33% corresponde al *film* B, siendo el segundo más crítico en la operación.

Figura 10.

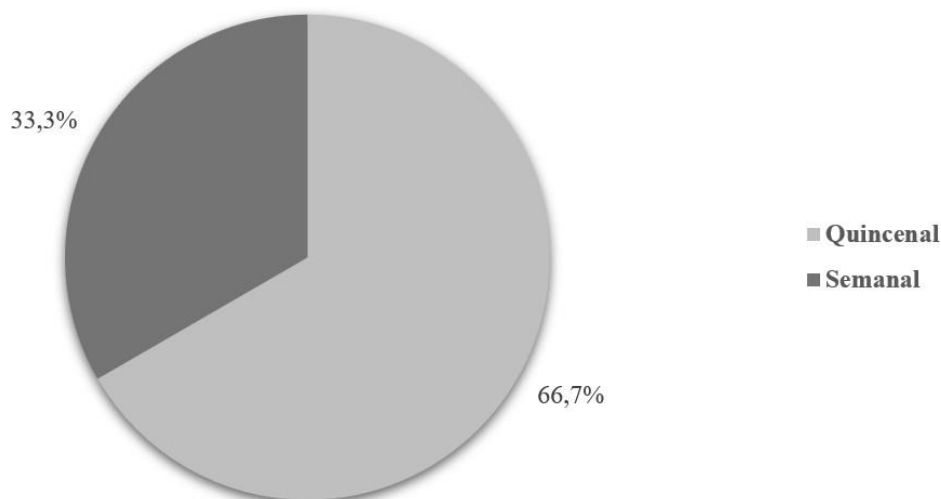
Porcentaje de deslizamiento por tipo de film



Adicionalmente, la frecuencia de deslizamientos, reportada por el 67% de los encuestados, ocurre cada dos semanas, lo que tiene un impacto negativo tanto en la operación como en los indicadores de paros no planeados de la fábrica, generando de esta manera un cuello de botella en la operación.

Figura 11.

Frecuencia de deslizamiento de los fardos

DETERMINACIÓN ESPECIFICACIÓN COF DE *FILM*

El proceso para seguir en caso deslizamiento, es el siguiente: se detiene el robot que arma la estiba, el operario entra y acomoda el fardo caído, posterior a esto continua la operación, si el problema persiste, se aumenta la cantidad de láminas de cartón entre niveles de la estiba para mejorar la estabilidad. Sin embargo, si esta solución no resulta efectiva, se debe desmontar el rollo y devolverlo al proveedor.

4.3 Mediciones coeficientes de fricción

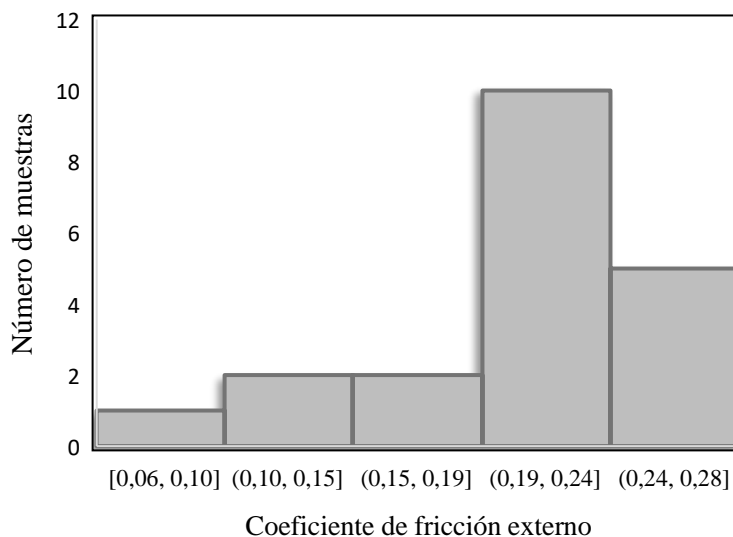
En la figura 12 se presenta un análisis de los valores de fricción externo obtenidos de 20 muestras recolectadas. El valor más bajo registrado fue de 0,06, un nivel que anticipa un posible mal funcionamiento al utilizar este tipo de *film*, el cual su caracterización se observa detalladamente en la tabla 1, correspondiendo este valor al primer dato encontrado en esta tabla. Además, se observa que el 55% de los datos se sitúan en un rango de 0,191 a 0,24, lo que indica que la mayoría de los proveedores están enviando *films* que caen dentro de estos valores. Este hallazgo es relevante, ya que coincide con los resultados reportados en la literatura. Por ejemplo, el estudio realizado por Knack en 2016 documentó valores de coeficiente de fricción externo que variaban entre 0,20 y 0,30, considerando este rango como el ideal para un funcionamiento

DETERMINACIÓN ESPECIFICACIÓN COF DE *FILM*

eficiente. Por lo tanto, la consistencia en la calidad de los *films* proporcionados por los proveedores sugiere que la elección de materiales en este rango podría ser clave para maximizar el rendimiento de las enfiardadoras.

Figura 12.

Valores coeficiente de fricción externo



En la figura 13 se presenta los datos obtenidos del coeficiente de fricción interno de las 20 muestras recolectadas, donde se evidencia que el valor más bajo registrado fue de 0,04. Este dato sugiere que el rendimiento de los *films* en estas condiciones no es favorable, ya que un coeficiente de fricción tan bajo puede comprometer la funcionalidad y la eficacia del material en el proceso.

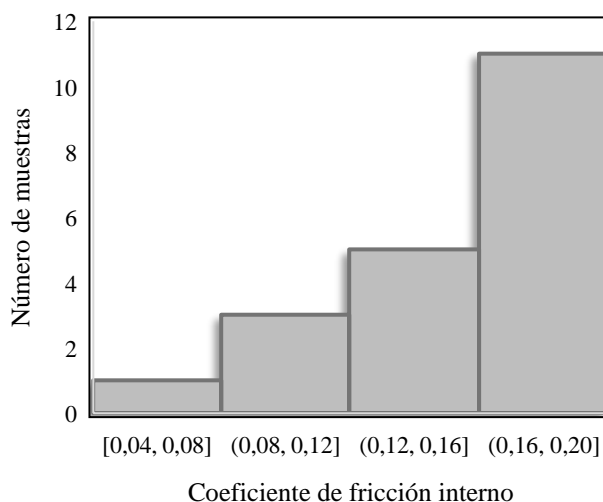
Además, se observa que el 50% de los datos de coeficiente de fricción interno se agrupan en un rango que oscila entre 0,16 y 0,20 e indica una tendencia clara en la calidad de los *films* proporcionados por los proveedores. La concentración de los valores en este intervalo sugiere que la mayoría de los *films* enviados a la fábrica cumplen con estándares de calidad que permiten un comportamiento adecuado en su uso, lo que a su vez puede traducirse en un rendimiento más

DETERMINACIÓN ESPECIFICACIÓN COF DE *FILM*

confiable en el proceso de producción. La identificación de este rango no solo ayuda a justificar un buen desempeño en general, sino que también proporciona una base sólida para evaluar la consistencia en la calidad de los productos recibidos. Al establecer un patrón en los valores, los fabricantes pueden trabajar más eficientemente, asegurando que los materiales empleados se alineen con las expectativas de rendimiento y seguridad. De esta forma, el análisis de la figura 9 no solo destaca los valores individuales de los coeficientes de fricción, sino que también contribuye a una comprensión más amplia de la dinámica entre proveedores y procesos de fabricación.

Figura 13.

Valores coeficiente de fricción interno



4.3 Matriz de funcionamiento

En el proceso de enfiado, se evaluaron dos materiales de *films* en dos tipos de enfiadoras (Tecnotok y Raumak) para así determinar el material de mejor rendimiento. Para ello se tomaron 20 muestras que se detallan en la matriz anexa donde se detallan los coeficientes de fricción y su compartimiento durante el proceso de enfiado.

DETERMINACIÓN ESPECIFICACIÓN COF DE *FILM***Tabla 1.***Matriz de funcionamiento enfardadoras*

| # | Fecha recolección | Descripción | COF Interno | COF Externo | Tipo Enfardadora | Observaciones |
|----|-------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|------------------|--|
| 1 | 29/04/2024 | Fardo transparente con franja blanca | 0,04 | 0,06 | Tecnotok | x Presentó deslizamiento, se tuvo que desmontar el rollo |
| 2 | 30/04/2024 | Fardo transparente con franja blanca | 0,19 | 0,20 | Tecnotok | ✓ Buen funcionamiento, sin novedad |
| 3 | 2/05/2024 | Fardo blanco | 0,16 | 0,24 | Tecnotok | ✓ Buen funcionamiento, sin novedad |
| 4 | 16/05/2024 | Fardo transparente con franja blanca | 0,15 | 0,26 | Tecnotok | ✓ Buen funcionamiento, sin novedad |
| 5 | 16/05/2024 | Fardo transparente con franja blanca | 0,16 | 0,28 | Tecnotok Raumak | ✓ Buen funcionamiento, sin novedad |
| 6 | 16/05/2024 | Fardo blanco | 0,12 | 0,20 | Tecnotok | ✓ Buen funcionamiento, sin novedad |
| 7 | 17/05/2024 | Fardo transparente con franja blanca | 0,14 | 0,19 | Tecnotok | ✓ Buen funcionamiento, sin novedad |
| 8 | 22/05/2024 | Fardo transparente con franja blanca | 0,11 | 0,16 | Raumak | x Funcionamiento con novedad después del medio rollo, no sellaba en la franja blanca |
| 9 | 23/05/2024 | Fardo transparente con franja blanca | 0,09 | 0,12 | Raumak | ✓ Buen funcionamiento, sin novedad, sin embargo, se sentía un poco liso |
| 10 | 23/05/2024 | Fardo blanco | 0,10 | 0,13 | Tecnotok | ✓ Buen funcionamiento, sin novedad |
| 11 | 29/05/2024 | Fardo transparente con franja blanca | 0,15 | 0,19 | Tecnotok | ✓ Buen funcionamiento, sin novedad |
| 12 | 11/06/2024 | Fardo transparente con franja blanca | 0,18 | 0,21 | Tecnotok | ✓ Buen funcionamiento, sin novedad |

DETERMINACIÓN ESPECIFICACIÓN COF DE *FILM*

| | | | | | | | |
|----|------------|--------------------------------------|------|------|-----------------|---|----------------------------------|
| 13 | 12/06/2024 | Fardo transparente con franja blanca | 0,17 | 0,19 | Tecnotok Raumak | ✓ | Buen funcionamiento, sin novedad |
| 14 | 13/06/2024 | Fardo transparente con franja blanca | 0,13 | 0,28 | Tecnotok | ✓ | Buen funcionamiento, sin novedad |
| 15 | 14/06/2024 | Fardo transparente con franja blanca | 0,17 | 0,25 | Tecnotok Raumak | ✓ | Buen funcionamiento, sin novedad |
| 16 | 17/06/2024 | Fardo transparente con franja blanca | 0,20 | 0,22 | Tecnotok | ✓ | Buen funcionamiento, sin novedad |
| 17 | 20/06/2024 | Fardo transparente con franja blanca | 0,18 | 0,19 | Tecnotok | ✓ | Buen funcionamiento, sin novedad |
| 18 | 25/06/2024 | Fardo transparente con franja blanca | 0,20 | 0,22 | Tecnotok Raumak | ✓ | Buen funcionamiento, sin novedad |
| 19 | 17/07/2024 | Fardo transparente con franja blanca | 0,16 | 0,19 | Tecnotok Raumak | ✓ | Buen funcionamiento, sin novedad |
| 20 | 17/07/2024 | Fardo transparente con franja blanca | 0,17 | 0,21 | Tecnotok | ✓ | Buen funcionamiento, sin novedad |

Según la matriz de funcionamiento (tabla 1), se evidencia que tanto las enfardadoras Tecnotok como Raumak tienen un rendimiento eficiente bajo las mismas condiciones, evaluadas a través del coeficiente de fricción, tanto interno como externo. Sin embargo, se observa un comportamiento problemático en situaciones donde el valor del *film* es bajo, es decir, menor a 0,1 lo cual concuerda con la literatura (Coutinho, 2021) ya que, en tales casos, la enfardadora experimentó deslizamientos. Durante la prueba, se intentó mitigar este problema añadiendo un mayor número de láminas de cartón para garantizar la estabilidad de la estiba; sin embargo, esta estrategia no resultó efectiva. Por este motivo, se tomó la decisión de descartar este rollo y proceder

DETERMINACIÓN ESPECIFICACIÓN COF DE *FILM*

a su retiro del equipo. Esta acción es crucial, ya que, si un problema similar se presentara durante el proceso de producción regular, podría convertirse en un cuello de botella significativo, afectando la eficiencia global del sistema.

En otro aspecto relevante, la prueba también reveló que el *film C* mostró un rendimiento superior en comparación con el *film B* lo cual concuerda con la entrevista de los operadores.

5. Conclusiones

- Se determinó a través de las entrevistas que el proceso de enfardado es crucial en la operación general. Si el material no cumple con las condiciones óptimas, se generan paros no planificados que afectan negativamente la producción. La caracterización del proceso de enfardado ha revelado que el deslizamiento de fardos es un problema crítico, identificado por el 83% de los operarios. Este desafío afecta negativamente la eficiencia operativa. La frecuencia de deslizamientos, cada dos semanas, resalta la necesidad de implementar soluciones efectivas y estandarizadas para minimizar interrupciones. En conclusión, abordar estas inquietudes mediante la mejora del material de empaquetado y la optimización de los procedimientos operativos es fundamental para incrementar la estabilidad y eficiencia del proceso de enfardado.
- Se demostró que las enfardadoras Raumak y Tecnotok funcionan de manera óptima cuando se utilizan con la misma especificación de material. Es importante resaltar que, aunque ambas máquinas permiten ajustes en ciertas condiciones operativas, como la temperatura y el gramaje de los paquetes a enfardar, sus comportamientos en términos de estabilidad son notablemente

DETERMINACIÓN ESPECIFICACIÓN COF DE *FILM*

similares. Esto sugiere que, independientemente de las variaciones en las configuraciones, ambas enfardadoras son capaces de mantener un rendimiento efectivo.

- El análisis realizado a través de la matriz ha confirmado que los valores de 0,06 y 0,04, para coeficiente externo e interno respectivamente, presentan inconvenientes significativos de deslizamiento en las enfardadoras, ya que se encuentran por debajo de los niveles ideales para un funcionamiento eficiente. A partir de esta evaluación, se han establecido rangos adecuados de operación: entre 0,16 y 0,20 para el coeficiente de fricción interno, y entre 0,191 y 0,24 para el coeficiente externo. Estos valores son cruciales no solo para estandarizar el proceso, sino también para comunicarlos a los proveedores, lo que garantizará la calidad del *film* utilizado y contribuirá a mejorar la eficiencia en la producción.

Recomendaciones

- Se recomienda a la empresa, dialogar con los proveedores sobre el rango en el cual debería llegar el *film* de enfardado garantizando de esta manera un buen funcionamiento en fábrica. De esta manera, se sugiere seguir realizando este ejercicio con coeficientes mayores al rango seleccionado para de esta manera tener estibas más estables, pero sin afectar el arrastre de la máquina. Adicionalmente, se debería tener un control en el ingreso de este material para así mismo llevar una trazabilidad y hacer una corroboración de la especificación solicitada al proveedor.

Referencias bibliográficas

- A. Santos, e. Córdoba, z. Ramírez, c. Sierra y. Ortega, (2017). "determination of the coefficient of dynamic friction between coatings of alumina and metallic materials", colombia: universidad pontificia bolivariana.
- Brown en, willms rb, gray gt iii, rae pj, cady cm, vecchio ks, flowers j, martinez my (2007) influencia de la conformación molecular en la respuesta constitutiva del polietileno: una comparación de hdpe, uhmwpe y pex. *Exp mech* 47(3):381–393
- Cozzarin, m., gonzález, j., & madero, m. (2022). Envases secundarios de las especialidades medicinales inyectables como criterio de compras sustentables. *Revista de la aafh*, 8(1), 5–10.
- De la rosa ivan adolfo, r. (2012). *Implementación de un aditivo de control de coeficiente de fricción en films extruidos y coextruidos en una planta productora de empaques flexibles*. <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/1596>
- Enfardadora automática high-tech | alta performance - tecnotok*. (2023). Tecnotok. <https://tecnotok.com/enfardadoras-automaticas/>
- Historia purina | purina*. (s. F.). <https://purina.com.co/purina/conoce-purina/historia>
- Imass inc, manual de instrucciones model sp-2100 slip/peel tester
- J. D. A. Fernández, (2015) "experimental determination of the friction coefficient using. A tilted plane", monterrey: tecnológico de monterrey.
- Merabtene, m., tanninen, p., varis, j., & leminen, v. (2021). Heat sealing evaluation and runnability issues of flexible paper materials in a vertical form fill seal packaging machine. *Bioresources*, 17(1), 223-242. <https://doi.org/10.15376/biores.17.1.223-242>


DETERMINACIÓN ESPECIFICACIÓN COF DE *FILM*

- Mensitieri g., scherillo g., iannace s., (2013). Estructuras de embalaje flexibles para tratamientos de alta presión, ciencia de los alimentos innovadora y tecnologías emergentes, volumen 17, páginas 12-21.
- Mckeen, I. W. (2017). High-temperature/high-performance polymers. En *elsevier ebooks* (pp. 389-417). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813292-0.00012-5>
- Raumak. (2022, 7 marzo). *Speed bag r9 - raumak*. Raumak - criar soluções que movimentam o mundo! <https://es.raumak.com.br/equipamentos/speed-bag-r93/>
- Rojas, o. A. Á. (2015). Evaluación de impacto ambiental potencial para la producción de polietileno de baja densidad “pebd”.
- Shah, a. A., hasan, f., hameed, a., & ahmed, s. (2008). Biological degradation of plastics: a comprehensive review. *Biotechnology advances*, 26(3), 246-265. [10.1016/j.biotechadv.2007.12.005](https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.12.005).
- Quispe, n. (2017). Ficha estándar de familia del catálogo de bienes, servicios y obras del mef. Lima, Perú: oficina general de tecnologías de la información del ministerio de economía y finanzas-catalogación 2017
- Knack, e. R. (marzo de 2016). Estudo da migração de deslizante em filmes de polietileno. Porto alegre: universidade federal do rio grande do sul.
- Coutinho, s. V. (febrero de 2021). Reticulação e análise de cof em filmes de polietileno. João pessoa – Paraíba: universidade federal da Paraíba.
- Rafael, I. N. D., & bansaid, o. G. B. (2008). Programa para el aumento de la productividad y calidad del proceso de ensamble de estibas de madera utilizadas en el sector bananero. <https://repositorio.unimagdalena.edu.co/items/c6c586c2-34a0-4a51-88d9-4ff515500711>

Apéndices

Apéndice A

Formato entrevista operadores

| FORMATO ENTREVISTA | |
|--|-----------|
|  Your Pet, Our Passion.® | |
| PREGUNTA | RESPUESTA |
| 1. ¿Cuál es el mayor problema que presentan las enfardadoras? | |
| 2. ¿Cuál es el tipo de <i>film</i> que presenta mayor deslizamiento? | |
| 3. ¿Cada cuánto se está presentando este deslizamiento? | |
| 4. ¿Cuál es el procedimiento que se realiza cuando se presenta el deslizamiento de fardos? | |
| 5. ¿Cuál cree que es la implicación que tiene este problema? | |

Apéndice B.

Protocolo de manejo equipo IMASS SLIP-2100

| Protocolo de manejo del equipo IMASS SLIP-2100 | |
|--|--|
| Paso | Descripción |
| 1 | Luego de tener ubicada la muestra, encienda el interruptor principal en la parte posterior izquierda del probador y observe que la luz de encendido se ilumina en verde. |
| 2 | Después de 5 segundos, el display mostrará SP-2100 en letras grandes, el número de serie del instrumento, la versión del sistema operativo y el copyright obligatorio. |
| 3 | Presione "OK" en la esquina inferior izquierda de la pantalla para continuar. |

DETERMINACIÓN ESPECIFICACIÓN COF DE *FILM*

| | |
|----|---|
| 4 | Después de presionar [OK] o aceptar el modo de prueba, la siguiente pantalla mostrará la capacidad de la celda de carga conectada. Después de considerar la capacidad de la celda, pulse [OK] y un nuevo mensaje en la pantalla se mostrará. |
| 5 | Si el equipo había estado previamente en modo de prueba Peel, el display le preguntará si desea Balancear. |
| 6 | Si anteriormente había estado en el modo de prueba COF, una pantalla similar permite elegir entre Escala o Balance |
| 7 | Pulse momentáneamente y suelte [BAL] una o dos veces, esto hará que el sistema se balancee automáticamente, el sistema de medición de carga se pone en cero y verifica la calibración del sistema de fuerza. |
| 8 | Este proceso toma de 1 a 2 seg mientras tanto un pequeño rectángulo en la pantalla parpadeará. |
| 9 | La advertencia para liberar la celda de carga significa que no se debe aplicar fuerza a la celda de carga durante el balanceo |
| 10 | Presione [TEST] para comenzar la prueba el carrito y la placa se desplazarán a una velocidad de 6 pulgadas por minuto y cuando haya finalizado la prueba en el panel es posible leer el COF estático directamente del valor del SP (static peak) y el COF cinético directamente del valor de AVG. Retire la muestra y apague el equipo. |