



**Procedimiento para medición de deformación longitudinal en el proceso de extrusión.**

Evelyn Atehortúa Marulanda

Asesor

Juan Carlos Quintero Diaz, Profesor de la facultad de ingeniería.

Universidad de Antioquia  
Facultad de ingeniería  
Programa de Ingeniería Química  
Medellín  
2022

<b>Cita</b>	(Atehortua, 2022)
<b>Referencia</b>	Atehortua, Evelyn. (2022). <i>Procedimiento para medición de deformación longitudinal en el proceso de extrusión.</i> , 2021-2022 [Presencial]. Universidad de Antioquia, Medellín.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



Asesor de prácticas: Juan Carlos Quintero Diaz



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

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

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes

**Decano/Director:** Jesús Francisco Vargas Bonilla.

**Jefe departamento:** Lina González

## Tabla de contenido

Resumen	6
Abstract	6
Introducción	7
1 Objetivos	9
1.1 Objetivo general	9
1.2 Objetivos específicos	9
2 Marco teórico	10
3 Metodología	13
4 Resultados y Análisis	15
5 Conclusiones	21
6 Referencias	22
7Anexos	23

## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b>	Parámetros utilizados para el estudio del comportamiento de la deformación.	13
<b>Tabla 2</b>	Análisis de variación del $\Delta L$ con respecto al $\Delta A$	13

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> Esquema de extrusión de película soplada	9
<b>Figura 2</b> Anillo de enfriamiento	9
<b>Figura 3</b> Lámina acotada lista para la evaluación de la deformación. (Izquierda.)	12
<b>Figura 4</b> Cortes con un delta de ancho establecido y longitud medida. (Derecha)	12
<b>Figura 5</b> Variación de del $\Delta L$ con respecto al $\Delta A$	16
<b>Figura 6</b> Variación de del $\Delta L$ con respecto al calibre.	17
<b>Figura 7</b> Variación de del $\Delta L$ con respecto al $\Delta A$	18

## **Resumen**

Se tiene un problema frente a la diferencia en perfil de longitud en las láminas extruidas desde el proceso de extrusión, es decir a las deformaciones que se presentan en el producto final de las extrusoras ya que actualmente se generan reprocesos y desperdicios por no contar con una metodología ni técnica cuantitativa para la caracterización de los rollos extruidos ni procesos posteriores. La metodología planteada ayudará a la caracterización de forma numérica para tener argumentos más claros al momento de desechar un rollo. Con los resultados obtenidos se pudo seleccionar un delta de ancho de 15 mm, unas dimensiones de 1000 mm de ancho y 2000 mm de largo, para el funcionamiento del dispositivo a usar.

## **Abstract**

There is a problem with the difference in length profile in the extruded sheets from the extrusion process, that is, the deformations that occur in the final product of the extruders since reprocessing and waste are currently generated due to not having a methodology or quantitative technique for the characterization of extruded rolls or subsequent processes. The proposed methodology will help the numerical characterization to have clearer arguments when discarding a roll. With the results obtained, it was possible to select a delta with a width of 15 mm, dimensions of 1000 mm wide and 2000 mm long, for the operation of the device to be used.

# PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE DEFORMACIÓN LONGITUDINAL EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

---

## Introducción

En Alico se fabrican empaques especializados para diferentes sectores como el alimenticio, químico, farmacéutico, aseo, textil, construcción e industrial, con estructuras plásticas simples y complejas, cada una de ellas con una aplicación específica que permite empaquetar cualquier producto logrando consolidar tres unidades de negocio, con productos versátiles que se ajustan a la medida y necesidades específicas de nuestros clientes. Se tiene la línea de fundas Centrada en la producción y comercialización de fundas sintéticas y colágeno comestible para embutidos aplicables en los sectores cárnico, lácteo, panadería, pulpas y productos industriales, utilizando tecnología apropiada y ofreciendo impresiones a diez tintas con calidad fotográfica. La línea de empaques Produce bolsas y láminas con diferentes características como barreras que contribuyen a la preservación y aumento de la vida útil del producto, selles que dan diferentes formas al empaque mejorando la presentación e impresiones hasta diez tintas con tecnologías aplicadas, que permiten imprimir excelentes fotografías, con una calidad que resalta la marca y las cualidades del producto y por último, la línea de termo formado. En ésta podrá encontrar una amplia gama de empaques semirrígidos, tanto genéricos como exclusivos, dirigidos a todos los sectores de la industria; posee la tecnología para fabricar e imprimir empaques con la forma que los productos y el mercado requiera. El proyecto se va a centrar en la línea de empaques, que a su vez dentro de este se encuentra el proceso de extrusión empaques con la finalidad de establecer una metodología que permita medir la deformación de las películas extruidas.

Actualmente en el proceso de extrusión empaques no se cuenta con una metodología numérica que permita medir la deformación de las películas que salen desde el proceso (cual proceso?) hacia los procesos posteriores. De esta forma se generan una suma monetaria bastante significativa solo en el desperdicio que dejan estas deformaciones, sin dejar de la lado el tema ambiental ya que estamos hablando de plástico y la magnitud en cuanto a contaminación es muy grande cuando no se le da un manejo adecuado a estos residuos. Para el año 2019 se tuvo un total de desperdicio por deformación equivalente 45.889 toneladas, con un costo de materia prima de \$ 6.471, esto es un equivalente a \$ 296'947.719.

Para el año 2020 fue de 18.347 toneladas con un costo promedio de materia prima de \$ 6.896 siendo equivalente a \$ 126'707.104

Para el año 2021 fue de 12.718 toneladas, con costo promedio de material \$9.684.

Siendo un total de \$123'161.112.

## **PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE DEFORMACIÓN LONGITUDINAL EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN**

---

Aunque ha disminuido considerablemente la cantidad de desperdicio por deformación en este proceso, el coste del material va incrementando considerablemente con el pasar de los años.

Es de vital importancia dejar en completa claridad desde donde vienen los problemas de calidad para ayudar con los sobre costos que generan los desperdicios, además del incremento de casi un 50% de los precios de las materias primas empleadas, debido al desabastecimiento mundial.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

Implementar una metodología cuantitativa para la determinación de deformaciones en películas de polietilenos, poliamidas y EVOH, durante el proceso de extrusión.

### **1.2 Objetivos específicos**

1.2.1 Desarrollar una metodología que permita medir y cuantificar el nivel de deformación de las capas sellantes y posteriormente para películas laminadas.

1.2.2 Identificar un rango óptimo de trabajo que no afecte la productividad y evite el aumento del material de desperdicio de los procesos posteriores como laminación, impresión, corte y sellado.

1.2.3 Determinar los parámetros para la construcción de un dispositivo que permita realizar pruebas cuantitativas en los materiales de extrusión para identificar las zonas de deformación de las películas

## 2. Marco teórico

El proceso de extrusión de película soplada o película tubular es el método más común para la fabricación de películas o films, y en general se utiliza para fabricar bolsas de plásticos termoplásticos. Más de la mitad de las películas producidas hoy en día se hacen de polietileno, en su mayoría de baja densidad.

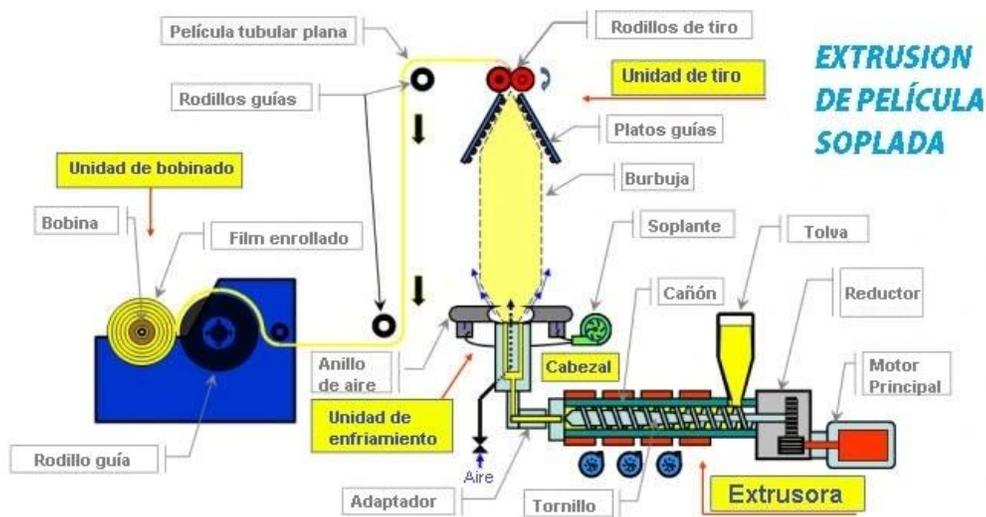


Figura 1. Esquema de extrusión de película soplada

En las líneas de película soplada la extrusora está equipada con una boquilla anular, dirigida habitualmente hacia arriba. Por el interior de la boquilla se inyecta aire que queda confinado en el interior del material que sale por la boquilla y que es contenido, como si de una gran burbuja se tratara, por un par de rodillos situados en la parte superior (rodillos de colapsado). A la salida del cabezal el material se enfría bruscamente mediante una corriente forzada de aire que pasa a través de una cámara anular (anillo de enfriamiento) y se dirige concéntrica y uniformemente sobre la burbuja. (Beltran, Marcilla 2012)

Si el flujo del aire no está bien regulado o no es concéntrico con la burbuja, se produce una diversidad de espesores que dan lugar a la formación de ondulaciones.

## PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE DEFORMACIÓN LONGITUDINAL EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

---



*Figura 2. Anillo de enfriamiento*

Además del ancho de una película y la tolerancia del perfil, la planitud se considera uno de los criterios de calidad más importantes para darle continuidad a los procesos posteriores de la unidad empaques iniciales. La buena planitud se refiere a productos de película con una baja o nula deformación, también una baja tendencia a las áreas de flacidez o protuberancias. La planitud de una película es un criterio importante, porque en parte pueden afectar sustancialmente la velocidad y cada uno de los parámetros de trabajo de otros procesos (por ejemplo, impresión, laminación, corte y sellado) y, por lo tanto, a menudo se utiliza una mala planitud como criterio para la clasificación como producción de desperdicio. (Rendon, Juan)

Diferentes efectos pueden influir en la planitud de una película:

- Tensión no uniforme en rodillos del proceso
- Conducción de calor desigual en los rodillos guía
- Enfriamiento desigual
- Mala distribución del perfil de espesor
- Marcas a través de la cesta guía
- Influencias del aplanamiento
- Abultamiento del borde debido al grosor del material

¿Por qué es indispensable la tensión en el manejo de rollos?

## **PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE DEFORMACIÓN LONGITUDINAL EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN**

---

- Para mantener la estabilidad lateral del material
- Remover y/o minimizar las arrugas
- Para que el material mantenga una superficie lisa y plana.
- Para que los rollos sean estables entre los procesos de producción y en las líneas de empaque de los clientes finales.

### **3. Metodología**

La metodología desarrollada para medir el nivel de deformación de las películas extruidas consiste en elegir el material a evaluar y posteriormente hacer el acotamiento de las medidas en dirección longitudinal y transversal de la lámina extruida seleccionada, seguidamente se hicieron deltas de ancho en la película para proceder con los cortes longitudinales y luego medir esas diferencias de longitud en cada tira resultante con el fin de darnos cuenta cuanto es la variación que tiene la película en la superficie.

Para la determinación del rango óptimo de trabajo fue necesario hacer la repetición de estas pruebas cuantas veces fue necesario, haciendo variación numérica en las diferentes variables como el delta de ancho, las dimensiones seleccionadas (ancho y largo de la película) y el tipo de material para posteriormente hacer una análisis frente al comportamiento de estos cambios, adicionalmente, a material aprobado para continuar en procesos posteriores, es decir, sin deformaciones, también se le realizaron pruebas para tener un rango de referencia y hacer depuraciones con los demás resultados.

Por último, para llegar a los parámetros de construcción del dispositivo que me permitirá realizar las pruebas se estableció que dichas medidas fueran acorde al tamaño máximo del ancho plano de las maquinas que corresponde a 1000mm para poder abarcar la lámina completa y no por secciones. Para la longitud se realizaron también cuantas pruebas fue necesario para determinar que con 2000mm era suficiente medida para que se vea un resultado en el delta de la longitud.

Adicional a esto se implementó un análisis estadístico descriptivo que tiene como finalidad describir un conjunto de datos obteniendo así los parámetros que distinguen las características de un conjunto de datos. Los motivos para realizar este análisis son que permite conocer al detalle la información que se posee y conocer la forma en la que se estructura la información. Se limita a realizar deducciones directamente a partir de los datos y parámetros obtenidos. (Montes, Daniel)

- Variación de longitud:  $\Delta l = l - l_0$  E.c 1

## PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE DEFORMACIÓN LONGITUDINAL EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

---

Donde tenemos una longitud inicial y una final que al aplicar esta ecuación arroja esa diferencia esperada.



Figura 3. Lámina acotada lista para la evaluación de la deformación. (Izquierda.)



Figura 4. Cortes con un delta de ancho establecido y longitud medida. (Derecha)

Las etapas planteadas para evaluar la deformación de las películas a partir de una lámina acotada con el fin de ser procesada para su evaluación (Figuras 3 y 4) se describe a continuación:

1. Se extrajo una muestra del material al cual se le va a realizar la prueba.
2. Se hicieron los acotes del área de la lámina, es decir la delimitación transversal y longitudinal de la película.
3. Con un instrumento métrico (regla) se determinó un delta de ancho.
4. Teniendo el delta de ancho señalado se procede a realizar cortes longitudinales.
6. Posterior a los cortes se procede a obtener la longitud final de cada uno de las tiras, calculando así el  $\Delta L$  que corresponde a la deformación del material en los puntos de medición en sentido máquina.

# PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE DEFORMACIÓN LONGITUDINAL EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

---

## 4. Resultados y Análisis

Se realizaron una serie de pruebas aplicando la metodología anteriormente mencionada y los resultados se muestran a continuación.

Dónde el calibre en micrómetros corresponde al grosor de la película o lámina, el delta hace referencia al delta de ancho estimado para la prueba.

Las láminas están en un rango de micraje entre 30 y 130 y la variación del delta de ancho están entre 15 mm y 3mm.

*Tabla 1. Parámetros utilizados para el estudio del comportamiento de la deformación.*

<b>CALIBRE</b>	110 $\mu\text{m}$
<b>DELTA</b>	30 cm
<b>DIMENSIÓN</b>	(45x135.2) cm
	<b>Variación de longitud</b>
135,1	-0,1
135,2	0
135,2	0
135,2	0
135,2	0
135,2	0
135,2	0
135,2	0
135,2	0
135,3	0,1
135,3	0,1
135,4	0,2
135,4	0,2
135,3	0,1
135,2	0
135,2	0

## PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE DEFORMACIÓN LONGITUDINAL EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

En la tabla 1, se muestran todos los parámetros tenidos en cuenta para el posterior análisis del comportamiento de estos. La información consignada allí corresponde al nombre de la máquina de donde se tomaron las muestras, el tipo de material, el calibre de la lámina en micrómetros, las dimensiones estimadas en centímetros y el delta de ancho elegido en centímetros que se usó en cada muestra.

Se tienen 6 máquinas coextrusoras, la vorex correspondiente a la extrusora 13 la cual es la más nueva en la compañía por ende es la de mayor tecnología, la extrusora 12, 11, 5,7 y 4. Los materiales extruidos son polímeros en forma de pellets polietilenos, poliamidas y EVOH con mezclas de aditivos según cada requerimiento, el calibre también depende de las necesidades del producto final solicitado.

*Tabla 2. Análisis de variación del  $\Delta L$  con respecto al  $\Delta A$*

ANÁLISIS DE VARIACIÓN DEL $\Delta L$ CON RESPECTO AL $\Delta A$				
MATERIAL	Película HBA Blanco extruida en Vorex II			
CALIBRE	110 $\mu$ m			
SECCIONADO [mm]	MUESTRA 1		MUESTRA 2	
	$\Delta A=30$ mm; L=1350mm; A=450mm		$\Delta A=20$ mm; L=1350mm; A=450mm	
	Longitud [mm]	$\Delta L$ [mm]	Longitud [mm]	$\Delta L$ [mm]
10	-	-	-	-
20	-	-	1401	1
30	1351	1	-	-
40	-	-	1401	1
50	-	-	-	-
60	1352	2	1400	0
70	-	-	-	-
80	-	-	1400	0

## PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE DEFORMACIÓN LONGITUDINAL EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

---

90	1352	2	-	-
100	-	-	1399	-1
110	-	-	-	-
120	1352	2	1399	-1
130	-	-	-	-
140	-	-	1399	-1
150	1352	2	-	-
160	-	-	1400,5	0,5
170	-	-	-	-
180	1352	2	1400	0
190	-	-	-	-
200	-	-	1399	-1
210	1352	2	-	-
220	-	-	1399	-1
230	-	-	-	-
240	1352	2	1400	0
250	-	-	-	-
260	-	-	1400	0
270	1353	3	-	-
280	-	-	1399	-1
290	-	-	-	-
300	1353	3	1400	0
310	-	-	-	-
320	-	-	1399,5	-0,5
330	1354	4	-	-
340	-	-	1400	0
350	-	-	-	-
360	1354	4	1400	0
370	-	-	-	-
380	-	-	1399	-1

**PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE DEFORMACIÓN LONGITUDINAL EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN**

---

390	1353	3	-	-
400	-	-	1398	-2
410	-	-	-	-
420	1352	2	1398	-2
430	-	-	-	-
440	-	-	1397	-3
450	1352	2	-	-
460	-	-	1398,5	-1,5



Figura 5. Variación de del  $\Delta L$  con respecto al  $\Delta A$

En la tabla 2, se hizo una selección de los datos de forma tal que se pudiese analizar el comportamiento de resultados con al menos dos características comparativas. En el caso de la tabla 2 se tiene una misma estructura con igual calibre de la lámina y la variación fue en las dimensiones y el delta de ancho seleccionado para el muestreo.

## PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE DEFORMACIÓN LONGITUDINAL EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

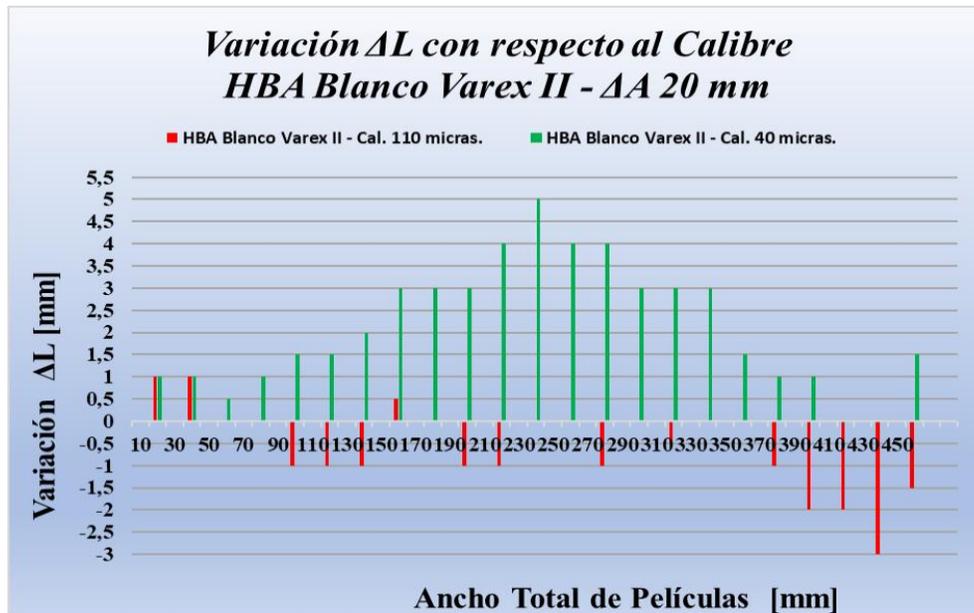


Figura 6. Variación de del  $\Delta L$  con respecto al calibre.

En la Figura 6 se observa un comportamiento de elongación y encogimiento teniendo la misma estructura del material e igual calibre, esto se debe a que la toma de la muestra fue en tiempos diferentes y la relación de soplado de la burbuja influye mucho en las propiedades mecánicas y tensiles de la película extruida.

En la Figura 6 se puede observar que se tiene un impacto significativo en el espesor de la película en cuanto a su comportamiento de deformación, es decir, en los mismos puntos de medición para aun calibre de 110 micras la película tiende a encogerse en comparación con la película de 40 micras, esto debido a la cantidad de polietileno presente en la estructura, ya que la muestra de 110 micras tiene mayor participación de polietileno en su estructura y tiende a recuperar forma inicial.

## PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE DEFORMACIÓN LONGITUDINAL EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

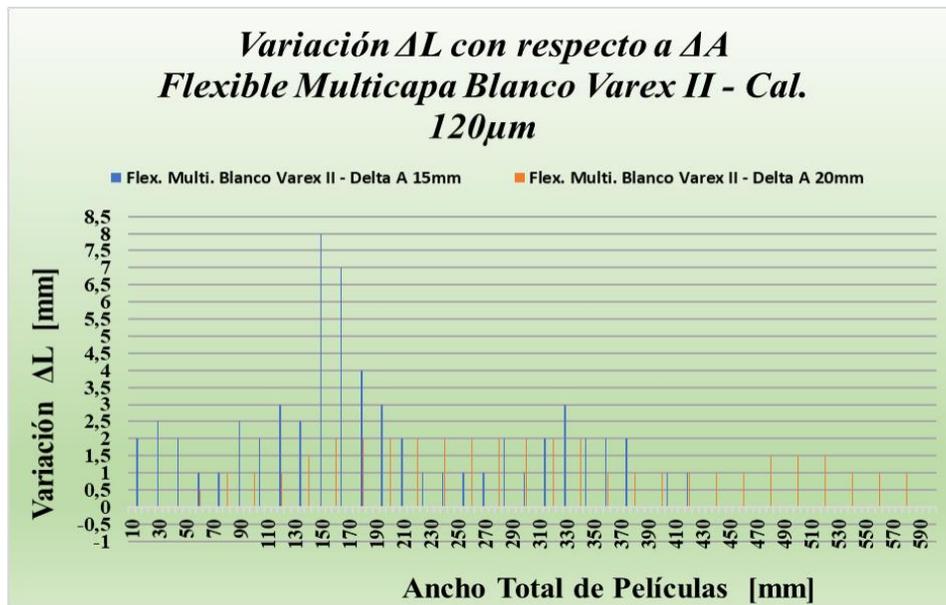


Figura 7. Variación de del  $\Delta L$  con respecto al  $\Delta A$

En la gráfica 3 se tiene para la estructura flexible multi blanco, el comportamiento mostrado en la deformación es lo esperado en el sentido de que la deformación (encogimiento o estiramiento) no depende significativamente de delta de ancho, es decir, la tendencia es la misma.

Durante el desarrollo del trabajo se hizo el muestreo tanto para material calificado como apto para los procesos posteriores como para el que no cumplía con los estándares de calidad. Con la finalidad de ver el comportamiento de un material en condiciones óptimas y desde allí partir para establecer esos parámetros que me van a permitir darle tolerancia a los rollos extruidos, es decir, poder determinar un rango de trabajo adecuado que no me afecte posteriormente los demás procesos.

Adicionalmente se debe garantizar un calibre uniforme en las películas o láminas y tengo el acceso a las curvas de calibre donde con este método también se puede identificar las partes de la máquina que tengan algún tipo de desgaste y no estén en un correcto funcionamiento.

## **5. Conclusiones**

Después de realizar una serie de pruebas y analizar el comportamiento de las diferentes estructuras con la variación de cada uno de los parámetros durante el desarrollo de este trabajo se pudo concluir satisfactoriamente lo esperado, los rangos de trabajo y los parámetros para la construcción de un dispositivo que me va a ayudar con la caracterización cuantitativa de los rollos salidos directamente del proceso de extrusión.

Se logró la determinación de una metodología que permite medir y cuantificar el nivel de deformación de las laminas extruidas exitosamente para implementar en el proceso, que fue descrita de forma minuciosa durante el desarrollo del trabajo cumpliendo el objetivo.

Después de realizar una serie de variaciones en el delta del ancho ( $\Delta A$ ) de la muestra dentro del rango de 15mm y 30mm, se determinó que este no afecta significativamente el fenómeno de deformación de la película, por ende se determina un  $\Delta A$  de 15mm para el diseño del prototipo, adicional se estableció que el rango para caracterizar un rollo como apto para los procesos posteriores es de 0.2 mm por encima y por debajo, es decir, que cuando una prueba de como resultado un delta de longitud por fuera de este rango se debe descartar. Identificando de esta forma el rango óptimo de trabajo para no afectar la productividad y evitar el aumento del material de desperdicio de los procesos posteriores.

Para las dimensiones de construcción del dispositivo, se tuvo en cuenta el ancho plano máximo de las máquinas para abarcar la lámina en su totalidad, se determina un ancho máximo de 1000mm y 2000mm de largo para practicidad del montaje que permita realizar pruebas cuantitativas en los materiales de extrusión para identificar las zonas de deformación de las películas.

## **6 Referencias**

Beltran, Marcilla. Extrusión de película soplada. En línea 19 de abril 2012. Disponible en:  
(<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/04/extrusion-de-pelicula-soplada.html#:~:text=El%20proceso%20de%20extrusi%C3%B3n%20de,su%20mayor%C3%ADa%20de%20baja%20densidad.>)

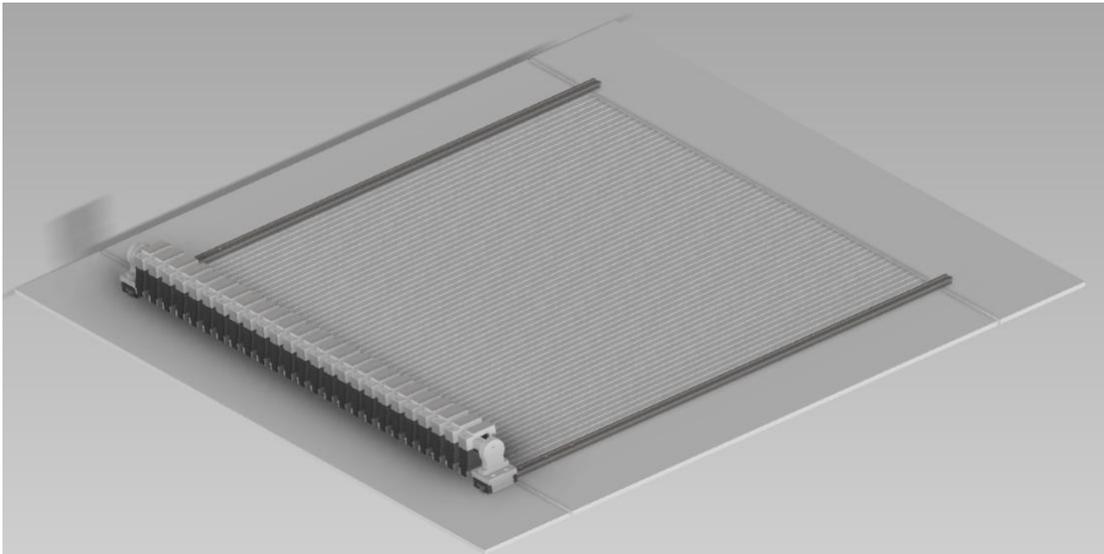
Montes, Daniel. Métodos de Análisis Estadístico. En línea 19 de septiembre 2018. Disponible en:  
(<https://www.pgconocimiento.com/metodos-de-analisis-estadistico/>)

Rendon, Juan. Coextrusión por burbuja soplada. En línea 14 de noviembre 2021. Disponible en:  
(<https://alico.clap.training/ClapWeb/lesson.xhtml>)

## **7.Anexos**

### **Prototipo**

Con ayuda de la sección de ingeniería de la empresa, se hizo un prototipado de como será el dispositivo idealizado para medir las deformaciones mencionadas a lo largo de este trabajo que dando de la siguiente manera como se muestra en la figura 8.



*Figura 8. Prototipo del dispositivo de medición de deformaciones.*

**PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE DEFORMACIÓN LONGITUDINAL EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN**

---