

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON AGUA PARA LA  
CINTA DE CAUCHO EXTRUIDO DE LA REFERENCIA DEL ZAPATO  
DISCOVERY EN LA COMPAÑÍA CROYDON COLOMBIA S.A.**

**CAMILO ANDRÉS VELÁSQUEZ ORTIZ  
LAURA VANESSA TRUJILLO SUAREZ**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2019**

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON AGUA PARA LA  
CINTA DE CAUCHO EXTRUIDO DE LA REFERENCIA DEL ZAPATO  
DISCOVERY EN LA COMPAÑÍA CROYDON COLOMBIA S.A.**

**CAMILO ANDRÉS VELÁSQUEZ ORTIZ  
LAURA VANESSA TRUJILLO SUAREZ**

**Proyecto integral de grado para optar al título de  
INGENIERO QUÍMICO**

**Director**

**Hever Andrés Chaves Romero.**

**Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2019**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Ing. Edgar Fernando Moreno Torres**  
**Jurado orientador**

---

**Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina**

---

**Ing. Oscar Libardo Lombana Charfuelan**

Bogotá D.C., Febrero de 2019

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD AMÉRICA**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. Jaime Posada Díaz**

Vicerrector de Desarrollo y recursos humanos

**Dr. Luis Jaime Posada García-Peña**

Vicerrectoría académica y de posgrados

**Ing. Ana Josefa Herrera Vargas**

Decano General de la Facultad de Ingenierías

**Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi**

Director del Programa de Ingeniería Química

**Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez**

Las directivas de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## **DEDICATORIA**

“Agradezco a Dios por darme la fuerza y la sabiduría para salir adelante y triunfante cada día de mi vida, por guiar cada uno de mis pasos, hacer de mí una mejor persona y por otorgarme la familia tan hermosa que tengo.

A mis padres, Edgar Trujillo y Adelfa Suarez que son lo más importante que tengo en la vida, les doy infinitas gracias por todo el amor que me han brindado, por ser mi apoyo incondicional ante la adversidad, mi ejemplo a seguir y sobre todo por el esfuerzo constante que han hecho para que sea hoy una mujer de bien. Gracias a ustedes es que estoy alcanzando mis metas con mucho felicidad, amor y orgullo.

A veces las palabras no alcanzan para expresar todo lo que siento en mi corazón por ustedes, por eso, a mis hermanos Juan Sebastián y Valeria, quiero darles las gracias por estar presentes en mi vida, por su confianza, apoyo, amor y respaldo incondicional en los buenos y malos momentos.

Gracias familia, esto es por y para ustedes, los amo”.

### **LAURA VANESSA TRUJILLO SUAREZ**

“Agradezco infinitamente a mis padres Blás Velásquez y Patricia Ortiz, por apoyarme incondicionalmente en esta etapa de mi vida, fueron esenciales para mi formación como profesional y sobre todo como persona, siendo mi pilar guiándome en cada paso para tomar decisiones sabias y correctas.

Mis abuelas siempre me dieron consejos muy sabios que supe aplicar en su debido momento, me respaldaron y apoyaron sin refutarme una sola palabra, por eso también quiero dedicarles este logro a ustedes, Ruby y Olga.

A mi hermana, Daniela, que siempre estuvo pendiente de mí en esos días duros, intentándome sacar siempre una sonrisa.

A Paula Andrea, gracias por tu amor, comprensión y confianza durante toda mi carrera.

Culminar una etapa de vida no es fácil, requiere de mucho esfuerzo y sacrificio, pero al final se ve reflejado en lo que soy hoy, una persona íntegra con valores y profesional.

Muchas gracias familia.”

### **CAMILO ANDRÉS VELÁSQUEZ ORTIZ**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la empresa CROYDON COLOMBIA S.A., por darnos la oportunidad y abrirnos sus puertas para desarrollar este proyecto, por confiar en nosotros y en nuestro conocimiento para la mejora de su proceso.

Al ingeniero Hever Andrés Chaves Romero, por ser el director, por el apoyo incondicional en este proyecto, por sus conocimientos y consejos brindados y lo más importante, por haber puesto su confianza en nosotros desde el inicio hasta el final.

Al ingeniero Carlos Quintero, Fredy Ramírez, Elver Figueroa y demás personal, gracias por haber sido participes en el transcurso de este proyecto y también, por su paciencia, recursos y conocimientos brindados.

Al ingeniero Fernando Moreno, nuestro asesor gracias por su dedicación, paciencia, apoyo y por todos los conocimientos y aportes brindados.

## CONTENIDO

	pág.
GLOSARIO	19
RESUMEN	20
INTRODUCCIÓN	21
OBJETIVOS	22
1. MARCO TEÓRICO	23
1.1 CAUCHO NATURAL	23
1.2 CAUCHO SINTÉTICO	23
1.3 ADITIVOS DEL CAUCHO PARA LA PRODUCCIÓN DE CINTA.	23
1.3.1 Homogeneizante	23
1.3.2 Tactificante	24
1.3.3 Activador	24
1.3.4 Plastificante	24
1.3.5 Pigmento	24
1.3.6 Cargas o relleno	24
1.4 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	24
1.4.1 Enfriamiento directo	25
1.4.2 Sistema de circulación abierto	25
1.4.3 Sistema de circulación cerrado	25
1.5 Equipos involucrados en el proceso de enfriamiento de la cinta de caucho	25
1.5.1 Extrusora	25
1.5.2 Túnel de enfriamiento	26
1.5.3 Sistema de corte	26
1.6 Terminología Croydon	26
1.6.1 Libro	26
1.6.2 Partes del zapato Discovery.	26
2. DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES DEL PROCESO ACTUAL PARA LA PRODUCCIÓN DE CINTA DE ZAPATO	28
2.1 Descripción del proceso de producción de cinta de caucho.	29
2.1.1 Producción y composición de la alimentación	29
2.1.2 Extrusión	31
2.1.3 Banda transportadora	37
2.1.4 Sistema de enfriamiento (túnel de enfriamiento)	39
2.1.5 Corte	42
3. DETERMINACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN	44
3.1 PLANEACIÓN PRE-EXPERIMENTAL	44

3.1.1	Determinación de la temperatura de estabilización de las dimensiones del caucho	44
3.1.2	Obtención de datos para el desarrollo experimental	45
3.2	METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS	48
3.2.1	Planteamiento de hipótesis	48
3.2.2	Clasificación de variables dependientes e independientes	49
3.2.3	Elección del diseño de experimento	51
3.2.4	Niveles del diseño de experimentos	51
3.2.5	Nivel de significancia	52
3.3	INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO	52
3.4	PROCEDIMIENTO DE EXPERIMENTACIÓN	54
3.4.1	Variación de la temperatura del agua de servicio y del tiempo de inmersión de la cinta en el agua	56
3.5	EXPERIMENTACIÓN	57
3.6	Análisis de datos	60
4.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PROPUESTO	64
4.1	CONDICIONES GENERALES DEL PROCESO.	64
4.2	PROPUESTA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AGUA PARA LA CINTA DE CAUCHO EXTRUIDO	64
4.3	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ENFRIAMIENTO DE LA CINTA DE CAUCHO EXTRUIDO CON AGUA	65
4.4	CONDICIONES DEL PROCESO	68
4.4.1	Batea	68
4.4.2	Agua	68
4.4.3	Chiller	69
4.4.4	Balance de energía para el sistema de enfriamiento	
4.4.5	Sistema de corte manual	72
4.4.6	Almacenamiento	72
4.5	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS	73
4.5.1	Chiller	73
4.5.2	Batea en acero inoxidable	74
4.5.3	Suavizador de agua	74
4.6	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	75
5.	EVALUACIÓN DE COSTOS	78
5.1	ANÁLISIS CAPEX	78
5.2	Estimación de costos en el proceso actual de producción de cinta de caucho.	79
5.3	COSTOS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ACTUAL Y PROPUESTO.	81
5.3.2	Costo del desperdicio actual	82
5.3.3	Costos del desperdicio con la propuesta	83
5.4	FLUJO DE CAJA	84

6. CONCLUSIONES	87
7. RECOMENDACIONES	89
BIBLIOGRAFÍA	90
ANEXOS	93

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Descripción de las partes que conforman el zapato de referencia Discovery.	27
<b>Tabla 2.</b> Control de desperdicios de recorte de cinta de caucho en montaje – Planta convencional entre enero y agosto de 2018.	28
<b>Tabla 3.</b> Balance de las corrientes de materia del proceso actual de extrusión de cinta de caucho	36
<b>Tabla 4.</b> Velocidad de las bandas transportadoras	37
<b>Tabla 5.</b> Dimensiones de la cinta extruida en el proceso (mm).	39
<b>Tabla 6.</b> Temperaturas en diferentes puntos del proceso	40
<b>Tabla 7.</b> Especificaciones del plano 2	77
<b>Tabla 8.</b> Equipos necesarios para la propuesta	79
<b>Tabla 9.</b> Costos variables del proceso de producción de cinta de caucho.	80
<b>Tabla 10.</b> Costos del sistema actual y propuesto.	81
<b>Tabla 11.</b> Datos de producción y desperdicio de la cinta Enero - Agosto 2018.	82
<b>Tabla 12.</b> Costo de desperdicio de cinta y su porcentaje.	83
<b>Tabla 13.</b> Costo de desperdicio de cinta y su porcentaje con el sistema de enfriamiento por agua.	83
<b>Tabla 14.</b> Proyección del costo por par zapatos Discovery.	84
<b>Tabla 15.</b> Datos experimentales para determinar la temperatura a la cual se estabilizan las dimensiones del ancho de la cinta caucho para la muestra 1.	96
<b>Tabla 16.</b> Datos experimentales para determinar la temperatura a la cual se estabilizan las dimensiones del ancho de la cinta caucho para la muestra 2.	96
<b>Tabla 17.</b> Datos experimentales para determinar la temperatura a la cual se estabilizan las dimensiones del ancho de la cinta caucho para la muestra 3.	98
<b>Tabla 18.</b> Diferencia entre la medición inicial y final.	99

## LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Zapato Discovery .....	26
<b>Imagen 2.</b> Bambury de carga para la materia prima. ....	29
<b>Imagen 3.</b> Rodillos de mezcla .....	30
<b>Imagen 4.</b> Serie de molinos reductores de grosor .....	30
<b>Imagen 5.</b> Medición del calibre de la cinta de alimentación de la extrusora. ....	31
<b>Imagen 6.</b> Puesta a punto de la extrusora. ....	32
<b>Imagen 7.</b> Purga de la extrusora. ....	32
<b>Imagen 8.</b> Extrusoras ensambladas y en funcionamiento. ....	33
<b>Imagen 9.</b> Dado C990 y vivos de la cinta extruida. ....	33
<b>Imagen 10.</b> Zapato con cinta delgada .....	38
<b>Imagen 11.</b> Túnel de enfriamiento actual. ....	39
<b>Imagen 12.</b> Sistema de corte automático .....	42
<b>Imagen 13.</b> Corte de cinta manual .....	43
<b>Imagen 14.</b> Libro de almacenamiento de cinta .....	43
<b>Imagen 15.</b> Montaje experimental para la determinación de la temperatura de estabilización del caucho. ....	45
<b>Imagen 16.</b> Diagrama genérico de la distribución asimétrica. ....	49
<b>Imagen 17.</b> Montaje piloto del sistema de enfriamiento. ....	57
<b>Imagen 18.</b> Display de chiller del sistema de enfriamiento a 15°C. ....	58
<b>Imagen 19.</b> Cinta en el agua de enfriamiento con el sensor de temperatura. ....	58

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
<b>Gráfica 1.</b> Comparación de las dimensiones de las cintas respecto al tiempo de enfriamiento	46
<b>Gráfica 2.</b> Comparación de las temperaturas de la cinta respecto al tiempo de enfriamiento	47
<b>Gráfica 3.</b> Datos de incertidumbre en las mediciones obtenidas.	63
<b>Gráfica 4.</b> Comportamiento de la temperatura de la cinta respecto al tiempo de enfriamiento.	100
<b>Gráfica 5.</b> Comportamiento de las dimensiones de la cinta respecto al tiempo de enfriamiento.	100
<b>Gráfica 6.</b> Comportamiento de la temperatura de la cinta respecto al tiempo de enfriamiento.	101
<b>Gráfica 7.</b> Comportamiento de las dimensiones de la cinta respecto al tiempo de enfriamiento.	101
<b>Gráfica 8.</b> Comportamiento de la temperatura de la cinta respecto al tiempo de enfriamiento.	102
<b>Gráfica 9.</b> Comportamiento de las dimensiones de la cinta respecto al tiempo de enfriamiento.	102

## LISTA DE CUADROS

	pág.
<b>Cuadro 1.</b> Datos del balance de materia del proceso actual de extrusión de cinta de caucho .....	35
<b>Cuadro 2.</b> Clasificación de las variables involucradas en el proceso. ....	50
<b>Cuadro 3.</b> Instrumentos de medición. ....	53
<b>Cuadro 4.</b> Siglas del diagrama 2. ....	54
<b>Cuadro 5.</b> Datos de temperaturas y diámetros de la cinta antes y después del sistema de enfriamiento por agua con tiempo de retención de 9.09 segundos. ....	58
<b>Cuadro 6.</b> Datos de temperaturas y diámetros de la cinta antes y después del sistema de enfriamiento por agua con tiempo de retención de 13.63 segundos. ..	59
<b>Cuadro 7.</b> Datos de temperaturas y diámetros de la cinta antes y después del sistema de enfriamiento por agua con tiempo de retención de 18.18 segundos ...	59
<b>Cuadro 8.</b> Datos de Temperaturas de la cinta después de pasar por el sistema de enfriamiento con diferentes tiempos de retención y temperaturas de agua de servicio.....	60
<b>Cuadro 9.</b> Análisis de varianza de tratamientos y bloques.....	60
<b>Cuadro 10.</b> Corrientes del diagrama 5. PFD del sistema de enfriamiento por agua. ....	67
<b>Cuadro 11.</b> Chiller de enfriamiento.....	73
<b>Cuadro 12.</b> Batea en acero inoxidable .....	74
<b>Cuadro 13.</b> Suavizador 16" x 65" .....	75
<b>Cuadro 14.</b> Flujo de caja del proyecto.....	86
<b>Cuadro 15.</b> VPN del proyecto.....	86

## LISTA DE PLANOS

	<b>pág.</b>
<b>Plano 1.</b> Planta de producción de bota PVC, bota de caucho y cinta de caucho extruida, vista superior. ....	76
<b>Plano 2.</b> Línea de extrusión de cinta de caucho, vista superior.....	77

## LISTA DE DIAGRAMAS

	<b>pág.</b>
<b>Diagrama 1.</b> Diagrama de flujo del proceso (PFD) de elaboración de cinta de caucho implementado en la empresa Croydon Colombia S. A.....	34
<b>Diagrama 2.</b> Instrumentación del proceso.....	54
<b>Diagrama 3.</b> Procedimiento de la experimentación. ....	56
<b>Diagrama 4.</b> Diagrama de bloques del sistema de enfriamiento por agua. ....	66
<b>Diagrama 5.</b> PFD del sistema de enfriamiento por agua.....	66
<b>Diagrama 6.</b> Balance de energía sistema de enfriamiento por agua.....	70

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
<b>Ecuación 1.</b> Velocidad de la banda.	37
<b>Ecuación 2.</b> Flujo de calor retirado de la cinta por medio del sistema de enfriamiento actual.	42
<b>Ecuación 3.</b> Flujo de aire utilizado en el sistema de enfriamiento actual.	42
<b>Ecuación 4.</b> Porcentaje de variabilidad.	47
<b>Ecuación 5.</b> Fórmula para determinar el Fcalculado por medio de la distribución Fisher	48
<b>Ecuación 6.</b> Tiempo de retención para batea de 1 metro.	57
<b>Ecuación 7.</b> Tiempo de retención para batea de 1.5 metros.	57
<b>Ecuación 8.</b> Tiempo de retención para batea de 2 metros.	57
<b>Ecuación 9.</b> Capacidad calorífica de la cinta de caucho.	70
<b>Ecuación 10.</b> Calor retirado de la cinta por medio del sistema de enfriamiento con agua.	71
<b>Ecuación 11.</b> Flujo de agua requerida para el sistema de enfriamiento	71
<b>Ecuación 12.</b> Volumen de un semicilindro.	72
<b>Ecuación 13.</b> Costos operacionales del sistema actual.	80
<b>Ecuación 14.</b> Costos operacionales del sistema propuesto.	81
<b>Ecuación 15.</b> Costo total de desperdicio de cinta.	82
<b>Ecuación 16.</b> Porcentaje de desperdicio de cinta.	82

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
<b>Anexo A.</b> Certificado de calibración del Pie de Rey	94
<b>Anexo B.</b> Tablas	96
<b>Anexo C.</b> Gráficas de distorsión dimensional	100

## GLOSARIO

**Bambury:** equipo donde se introduce la mezcla de caucho y otros productos químicos para obtener un material de caucho homogéneo. El tiempo, el calor y las materias primas utilizadas son los factores decisivos en la composición del producto final<sup>1</sup>.

**Cinta de caucho:** recubrimiento utilizado en la producción de calzado, que va sobrepuesto en la parte lateral del zapato, el cual asegura de manera permanente el forro de lona con la suela del zapato.

**Discovery:** referencia del zapato tipo Converse.

**Distorsión:** alteración de la forma de la cinta cuando pasa a través de un sistema.

**Libro:** conjunto de hojas de cuero sintético, unidas por uno de sus lados con dos láminas de madera con el objetivo de almacenar las cintas de caucho extruido.

**Par de cintas:** conjunto de dos unidades de cinta de caucho extruido con dimensiones establecidas.

**Pirómetro:** es un instrumento que mide la temperatura de la cinta sin necesidad de estar en contacto con ella por medio de un rayo infrarrojo.

**Pie de Rey:** También llamado calibre, es un instrumento de medición que se utiliza principalmente para diámetros exteriores, interiores y profundidades. Con este elemento se mide el ancho de la cinta de caucho extruido.

**Sistema de enfriamiento:** Sistema que elimina el exceso de calor de cualquier medio a través de un intercambio térmico con agua o aire, a fin de reducir la temperatura de dicho medio a niveles próximos al ambiente<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Beliczky, L. D., & Fajen, j. (s.f.). Fabricación de neumáticos. En J. S. Frederick, *ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO* (pág. 80.4) [EN LÍNEA] [Citado el 22/11/2018] Disponible en internet:<<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tema3/80.pdf> >

<sup>2</sup> Trujillo V Diego Alejandro, Unidad de planeación Minero Energética, Principio de refrigeración [EN LÍNEA]. [Citado el 02/10/2018] Disponible en internet en: <<http://www.si3ea.gov.co/eure/6/inicio.html>>

## RESUMEN

Se desarrolló una propuesta para un sistema de enfriamiento por agua para la cinta de caucho, de referencia Discovery, extruida en la compañía Croydon Colombia S.A. Esta propuesta busca reducir en 75% el desperdicio generado actualmente en la línea de extrusión, pasando de 108 millones de pesos en desperdicio a aproximadamente 27 millones de pesos, el cual es causado por el distorsionamiento dimensional de la cinta, y así mejorar el proceso productivo.

En el desarrollo de esta propuesta se obtuvo experimentalmente el rango de temperatura al cual se estabilizan las dimensiones de la cinta de caucho. Al tener este rango, se escogió la temperatura del agua de servicio y tiempo de inmersión adecuado para que la cinta llegara a su punto de estabilización dimensional. Mediante un desarrollo experimental, se realizaron 9 ensayos y se obtuvieron 18 datos para analizar, estos se hallaron variando la temperatura de agua de servicio y el tiempo de inmersión.

Una vez definidos estos datos, se realizó el diseño de experimentos y su correspondiente análisis, donde se obtuvo que la temperatura del agua de servicio no afecta considerablemente la temperatura de la cinta a la salida del sistema de enfriamiento (Variable de respuesta), pero el tiempo de inmersión si tiene incidencia sobre la variable de respuesta.

Se realizaron las especificaciones técnicas que requiere la propuesta del sistema de enfriamiento por agua y se finalizó con la evaluación de costos asociados al proyecto.

**Palabras clave:** Enfriamiento, caucho, disminución, dimensiones, distorsión, desperdicio.

## INTRODUCCIÓN

En Croydon Colombia S.A, elaboran las cintas de caucho que conforman los bordes protectores de los zapatos, los cuales aseguran de manera permanente la suela de estos.

Es importante realizar este proyecto porque el sistema de enfriamiento de la cinta actual no aumenta el gradiente de temperatura necesario, puesto que la temperatura de la cinta a la salida de la extrusora es de  $74\pm 4^{\circ}\text{C}$ . Esta temperatura afecta la producción, pues la cinta entra en contacto con la banda transportadora, y al pasar por el túnel de enfriamiento, no sale a la temperatura de estabilización del caucho, aumentando la probabilidad de que la cinta tenga distorsión dimensional, lo que causa que el desperdicio en la línea de producción aumente significativamente.

En procesos de enfriamiento de caucho, es prioritario un alto gradiente de temperatura puesto que en la curva de enfriamiento se presenta un significativo cambio en las dimensiones del material, el cual suele contraerse y expandirse a medida que su temperatura se reduce hasta cierto punto en donde se mantendrán constantes sus dimensiones. La temperatura a la que se estabilizan las dimensiones de la cinta de caucho se halló mediante un desarrollo experimental en una planta piloto diseñada en la compañía Croydon Colombia S.A, la cual varía de  $30^{\circ}\text{C}$  a  $35^{\circ}\text{C}$ .

Por este motivo se ve la necesidad de plantear un nuevo sistema de enfriamiento que ayude a disminuir los costos de operación, aumentar la capacidad productiva y reducir el impacto ambiental, disminuyendo la cantidad de material desperdiciado en la línea de producción, ya sea porque no cumple las dimensiones, o porque es recortado y sobrante del zapato.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una propuesta de un sistema de enfriamiento con agua para la producción de la cinta de caucho extruido de la referencia del zapato Discovery en la compañía Croydon Colombia S.A

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Diagnosticar las condiciones del proceso actual de extrusión y de enfriamiento de caucho para la producción de cinta de zapato.
2. Determinar las condiciones de operación para el sistema de enfriamiento propuesto mediante desarrollos experimentales.
3. Establecer las especificaciones técnicas del sistema de enfriamiento propuesto en Croydon Colombia S.A.
4. Evaluar los costos de operación al incorporar el sistema de enfriamiento a base de agua.

## 1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se exponen los conceptos principales que se deben considerar para contextualizar el contenido del trabajo. Las definiciones se relacionan directamente con el material utilizado, los equipos involucrados en el proceso de transformación de la mezcla de caucho, y la terminología común utilizada por Croydon Colombia S. A. en el proceso de producción de cinta de caucho extruido.

### 1.1 CAUCHO NATURAL

El caucho natural se obtiene de cierto tipo de árboles que exudan una sustancia blanca y lechosa, el “látex”, cuando se hace una incisión profunda en su corteza.

El látex contiene 30 a 36% de caucho en forma de pequeñísimas gotas en suspensión, el cual se obtiene en forma sólida por “coagulación” mediante ácido fórmico (HCOOH) o acético (CH<sub>3</sub>COOH) a un pH de 4,8 a 5,0.

Este caucho coagulado se procesa en máquinas provistas de cilindros rotatorios, para obtener así un material laminado denominado “caucho bruto”<sup>3</sup>.

### 1.2 CAUCHO SINTÉTICO

Los cauchos sintéticos, técnicamente conocidos como elastómeros, se utilizan como sustitutos del caucho natural debido a su excelente resistencia química a los ácidos, aceites minerales, gases y otras sustancias. Son también más estables, a temperaturas elevadas, que el caucho natural. Se obtienen por polimerización de diolefinas derivadas del petróleo, las cuales han sufrido un tratamiento previo de emulsiónamiento y coagulación<sup>4</sup>.

### 1.3 ADITIVOS DEL CAUCHO PARA LA PRODUCCIÓN DE CINTA

**1.3.1 Homogeneizante.** Los agentes homogeneizantes son productos que mejoran la homogeneidad en la mezcla de elastómeros. Son mezclas a base de resina que muestran una buena compatibilidad con varios elastómeros y facilitan la mezcla mediante una temprana humectación y suavizado<sup>5</sup>.

---

<sup>3</sup> Química, F. d. (s.f.). *Caucho natural y sintético*. Obtenido de Pontificia universidad católica de Chile: <http://quimica.uc.cl/images/paginas/fcauchonaturalsintetico.pdf>

<sup>4</sup> Química, F. d. (s.f.). op. Cit

<sup>5</sup> Strukol Company Of America, Rubber handbook, USA, Sept 2004 p. 35.

**1.3.2 Tactificante.** La mayoría de cauchos sintéticos son menos pegajosos que el caucho natural, por lo que es necesario añadir sustancias tactificantes (adherentes). Deben dar a los compuestos de caucho un alto grado de adherencia, el cual se mantiene durante el almacenamiento, y facilitar el procesamiento a través de la reducción de la viscosidad<sup>6</sup>, como sucede en la extrusión.

**1.3.3 Activador.** Los activadores poseen aditivos que favorecen la vulcanización, en particular favorecen la cura normal de azufre. Casi todos los aceleradores orgánicos requieren el uso simultáneo de actuadores orgánicos o inorgánicos para desarrollar su efectividad total. Los activadores también pueden mejorar la incorporación y dispersión del relleno<sup>7</sup>.

**1.3.4 Plastificante.** Es un material que se incorpora en otro que usualmente es plástico o elastómero para darle propiedades de flexibilidad, elongación o distensibilidad. El plastificante puede ayudar a reducir la temperatura de transición vítrea o reducir el módulo de elasticidad del polímero aditivado<sup>8</sup>.

**1.3.5 Pigmento.** Son aditivos que absorben parte de las ondas que están dentro del espectro visible, y reflejan o transmiten el resto, creando así la percepción al cerebro un color en especial.

Los pigmentos son poco solubles al medio en donde se encuentran generalmente en forma de polvo, por lo cual el tamaño de partícula de este tipo de colorantes es muy importante para su adecuada dispersión en el material polimérico<sup>9</sup>.

**1.3.6 Cargas o relleno.** Son materiales que se utilizan principalmente para reducir el costo de la formulación de caucho, aunque también mejoran las características físicas del compuesto<sup>10</sup>.

## 1.4 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

El sistema de enfriamiento en agua es el menos dispendioso comparado con el enfriamiento por aire, requiere de una pequeña área para su instalación, es fácil de higienizar y es de mantenimiento barato y sencillo. Además, es más eficaz y económico de operar, pues siendo la tasa de transferencia de calor del agua 2,5 veces superior a la del aire.<sup>11</sup>

---

<sup>6</sup> Strukol Company Of America, op. cit. p. 44

<sup>7</sup> Strukol Company Of America, op. cit.54.

<sup>8</sup> Strukol Company Of America, op. cit.46.

<sup>9</sup> L. CASTRO, E PLAZAS, Desarrollo de una propuesta de mejora en el proceso de recuperación de material no conforme en la producción de botas PVC para la empresa Croydon Colombia, Universidad de América, Bogotá, 2017. P. 29

<sup>10</sup> L CASTRO, E PLAZAS, op. cit. p.29

<sup>11</sup> Fabio G Nunez, El sitio Avícola, Sistema de enfriamiento en agua y en aire: Ventajas y desventajas. 20 de Junio de 2016, [en línea]. [Citado el 13/11/2018], Disponible en internet: <<http://www.elsitioavicola.com/articles/2885/sistemas-de-enfriamiento-en-agua-y-en-aire-ventajas-y-desventajas/>>

**1.4.1 Enfriamiento directo.** En el cual el fluido de enfriamiento, en este caso el agua fría, va directamente al proceso y regresa como agua caliente a la parte superior (charolas), de la torre de enfriamiento.<sup>12</sup>

**1.4.2 Sistema de circulación abierto.** En este tipo de sistema existe contacto con la atmósfera, por lo que existe perdidas por evaporación y por purgado.<sup>13</sup>

**1.4.3 Sistema de circulación cerrado.** El agua circula dentro del sistema y no hay contacto con la atmósfera, en este tipo de sistema no hay perdidas por evaporación, ni por purgado.<sup>14</sup>

## **1.5 EQUIPOS INVOLUCRADOS EN EL PROCESO DE ENFRIAMIENTO DE LA CINTA DE CAUCHO**

Los equipos mencionados a continuación realizan la operación del sistema de extrusión de la cinta de caucho.

**1.5.1 Extrusora.** La extrusora tiene como fin forzar el paso de un plástico, caucho o material fundido, por medio de la presión generada por la acción giratoria de un tornillo sinfín, el cual gira concéntricamente en el interior de la extrusora a temperaturas controladas, dicho material es fundido y homogenizado. A través del dado o boquilla es extruido. El material es alimentado por medio de una tolva en un extremo de la máquina y es por medio a la acción de empuje que funde y fluye el material, por el otro lado sale el material por el dado con el perfil deseado o la necesidad deseada.

Las funciones del equipo de extrusión cumplen diferentes necesidades, dependiendo del fin especificado para su operación, sus principales funciones son:

- Recibir y almacenar el polímero
- Transportar el material sólido
- Calentar y comprimir el polímero
- Homogenizar
- Generar la presión necesaria para la obtención del producto final
- Extruir el semielaborado<sup>15</sup>

---

<sup>12</sup> Quiminet. Sistemas de enfriamiento del agua [en línea] [Citado el 13/11/2018]. Disponible en internet: <<https://www.quiminet.com/articulos/sistemas-de-enfriamiento-del-agua-2560810.htm>>

<sup>13</sup> Quiminet. Opt.cit

<sup>14</sup> Quiminet. Opt. cit

<sup>15</sup> Descripción de la unidad de extrusion , diseño del cabezal de extrusion y cortador del parison. (s.f.). En *capítulo 3* (págs. 36-37).

**1.5.2 Túnel de enfriamiento.** Consiste en un sistema de enfriamiento en un circuito cerrado de forma rectangular con láminas de poliestireno expandido con el fin de aislar y conservar la temperatura de su interior. El aire utilizado en el túnel de enfriamiento es refrigerado por medio de un chiller con el fin de mantener constante la temperatura del interior del túnel de enfriamiento.

**1.5.3 Sistema de corte.** Consiste en un sistema de corte completamente manual, en el que el personal operativo debe cortar las cintas de caucho con unas tijeras de acuerdo a la longitud requerida en producción.

## 1.6 TERMINOLOGÍA CROYDON

Los términos que se relacionan en este numeral tienen que ver con el proceso de extrusión, secado y cortado del caucho, adicional se explica el zapato Discovery con sus respectivos estándares.

**1.6.1 Libro.** Conjunto de hojas de cuero sintético, unidas por uno de sus lados con dos láminas de madera con el objetivo de almacenar las cintas de caucho extruido.

**1.6.2 Partes del zapato Discovery.**

**Imagen 1. Zapato Discovery**



**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 1.** Descripción de las partes que conforman el zapato de referencia Discovery.

<b>Número</b>	<b>Nombre</b>	<b>Función</b>	<b>Dimensiones estandarizadas</b>
1	Puntera	Protege la punta del zapato / Decoración.	No aplica
2	Cordón	Ajusta el zapato al pie del usuario.	De 28 a 32 pulgadas
3	Sello Referencia	Marca del zapato / decoración.	No aplica
4	Ojalete	Sostener el cordón dentro del zapato.	No aplica
5	Cinta tricolor	Asegura el forro de lona a la suela del zapato.	Ancho: 29 a 31 mm Largo: 58 a 70 cm.
6	Forro de lona	Material de tela que le da forma y resistencia al zapato.	No aplica.
7	Sobre-puntera	Le da resistencia a la parte frontal del zapato.	No aplica.

**Fuente:** elaboración propia

## 2. DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES DEL PROCESO ACTUAL PARA LA PRODUCCIÓN DE CINTA DE ZAPATO

Croydon Colombia se dedica a la elaboración de calzado a nivel industrial. Para la construcción de los zapatos, se requiere el procesamiento y la extrusión de caucho con el fin de crear las piezas que conforman el producto; una de ellas, y de las más importantes mencionada en este proyecto, es la cinta de caucho que adhiere y rodea la suela a la capellada (Parte textil del zapato), con el fin de unificar y formar el zapato como conjunto a una sola pieza.

Las cintas de caucho tienen unas dimensiones específicas en el momento de ser utilizadas en la elaboración del calzado, de ancho deben tener entre 29 y 31 mm y de largo, dependiendo del tamaño de zapato, de la talla 34 hasta 44, oscilan entre 58 y 70 cm, con una tolerancia de máximo 4 cm de corte para el operario.

En el proceso de producción de la cinta de caucho, que está conformado por la extrusión, enfriamiento y corte, se presenta una distorsión dimensional en la cinta, la cual causa desperdicios de caucho y de zapato terminado, lo que se traduce en pérdidas económicas para la compañía. En la **Tabla 2** se muestran los datos de desperdicio de cinta de caucho del 2018 (Enero – Agosto) respecto a la producción de pares de cinta y su respectivo costo en millones de pesos, teniendo en cuenta que 1 kg de cinta le cuesta a la compañía aproximadamente 7619.11 COP<sup>16</sup>

**Tabla 2.** Control de desperdicios de recorte de cinta de caucho en montaje – Planta convencional entre enero y agosto de 2018.

<b>Mes</b>	<b>Desperdicio (kg)</b>	<b>Producción (Pares)</b>	<b>Costo de desperdicio</b>
<b>Enero</b>	698.5	18577	\$5.321.948,34
<b>Febrero</b>	1809.5	53718	\$13.786.779,55
<b>Marzo</b>	1871	54292	\$14.255.354,81
<b>Abril</b>	2025.5	57065	\$15.432.507,31
<b>Mayo</b>	2124.3	56750	\$16.185.275,37
<b>Junio</b>	1941	53398	\$14.788.692,51
<b>Julio</b>	1925.5	55469	\$14.670.596,31
<b>Agosto</b>	1830.5	52794	\$13.946.780,86
<b>Total</b>	14225.8	402063	\$108.387.935,04

**Fuente:** Área ambiental - Croydon Colombia S.A.

De acuerdo a lo anterior, se realizó un diagnóstico de las condiciones actuales del proceso de extrusión y enfriamiento de la cinta de caucho, posteriormente se

<sup>16</sup> \*NOTA: Datos suministrados por el área de costos de la compañía.

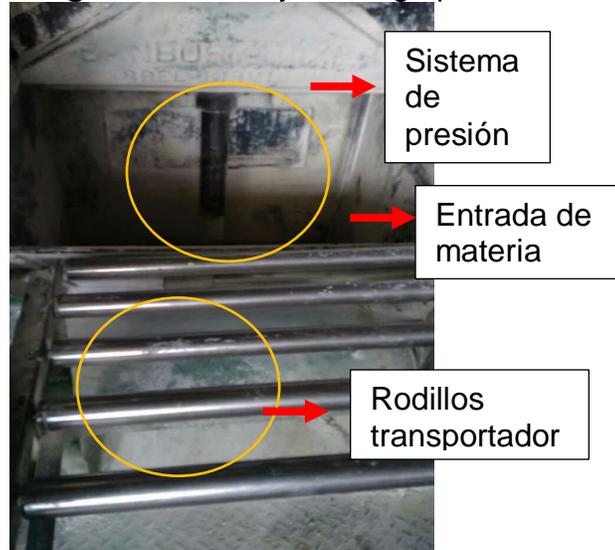
identificó el problema que se presenta a lo largo del proceso de elaboración de la cinta de caucho.

## 2.1 Descripción del proceso de producción de cinta de caucho.

La compañía maneja 3 turnos distintos, el primer turno empieza desde las 22:00 hasta las 6:00, el segundo turno empieza a las 6:00 y acaba a las 14:00 y el tercer turno empieza a las 14:00 y termina a las 22:00. En cada uno de estos turnos, la línea de extrusión está en constante trabajo, produciendo así la cinta requerida para las órdenes necesarias por turno.

**2.1.1 Producción y composición de la alimentación.** La materia prima requerida para la producción de cinta tricolor de la referencia Discovery está compuesta por una formulación de caucho, plastificantes, antioxidantes, homogenizantes, tactificantes, activadores, pigmentos, inhibidores de pre vulcanización, relleno y carga reforzante. Estos elementos se introducen en orden y tiempos específicos al Bambury, en donde serán mezclados para producir una mezcla de caucho. Ver **Imagen 2**.

**Imagen 2.** Bambury de carga para la materia prima.



**Fuente:** elaboración propia

La formulación de caucho que sale del bambury, se introduce en un rodillo de mezcla, como se observa en la **Imagen 3**, en donde se le agrega acelerante y azufre para obtener la formulación requerida para la producción de la cinta de caucho blanca identificada como Z-301.

**Imagen 3.** Rodillos de mezcla



**Fuente:** elaboración propia

Después de obtener el Z-301, este es llevado a una serie de molinos reductores de grosor, como se observa en la **Imagen 4**, para reducir su grosor y obtener el calibre necesario para poderlo alimentar a la extrusora, el cual oscila entre 1.8 mm a 2 mm (**Imagen 5**).

**Imagen 4.** Serie de molinos reductores de grosor



**Fuente:** elaboración propia

**Imagen 5.** Medición del calibre de la cinta de alimentación de la extrusora.



**Fuente:** elaboración propia

**2.1.2 Extrusión.** En cada turno el proceso empieza con la organización de las tareas que desarrolla el personal operativo, de acuerdo a la cantidad de cinta requerida, el ingeniero de producción a cargo calcula la cantidad en kilogramos de materia prima (Cinta de caucho blanco, azul y rojo, codificadas respectivamente como Z-301, Z-210, Z-302) requerida para esa orden. Los operarios deben ensamblar y poner a punto la operación de las 3 extrusoras, como se observa en las **Imágenes 6, 7 y 8**, donde tardan aproximadamente 40 minutos en realizar la labor. Allí deben verificar que el interior de las extrusoras se encuentre limpio y libre de residuos para ensamblar el tornillo sinfín y el dado pertinente a la referencia Discovery, que es el C990 (**Imagen 9**).

Las extrusoras laterales sirven para conformar el vivo de la cinta (Parte de color azul y rojo de la cinta) como también se observa en la **Imagen 9**.

**Imagen 6.** Puesta a punto de la extrusora.



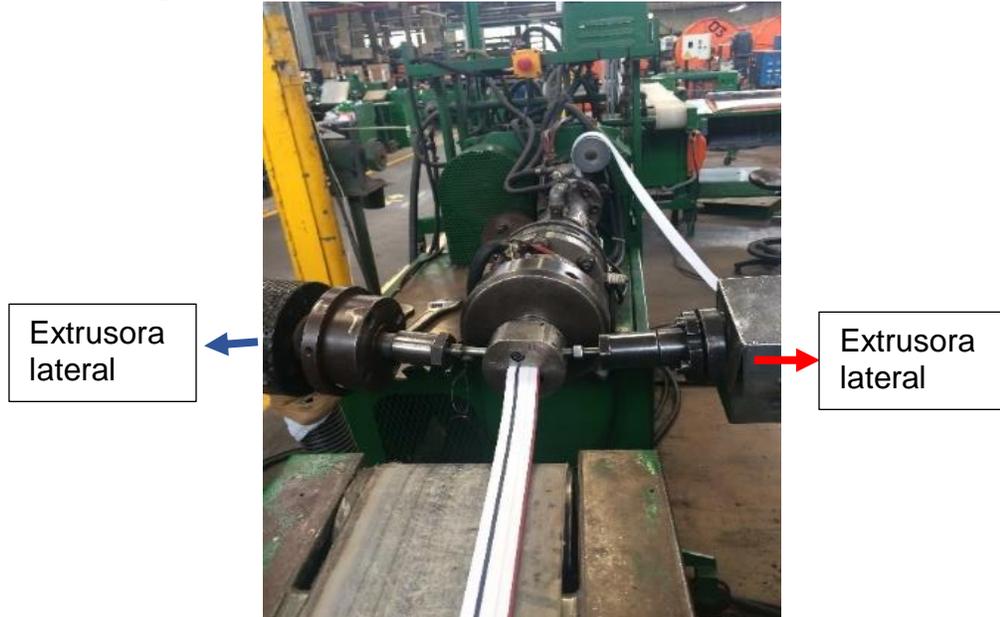
**Fuente:** elaboración propia

**Imagen 7.** Purga de la extrusora.



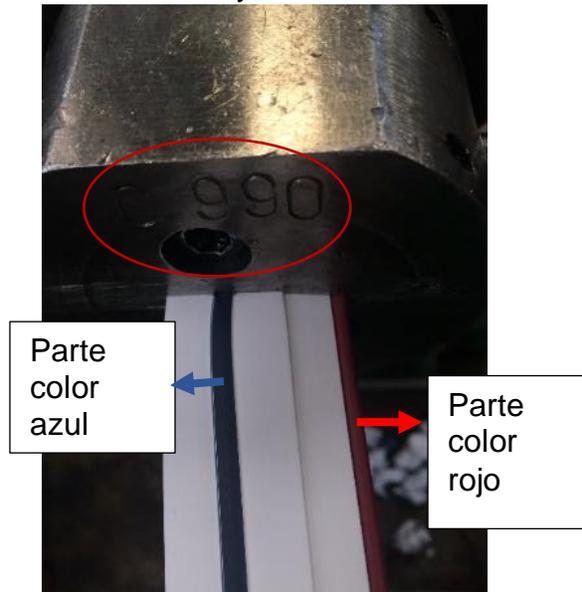
**Fuente:** elaboración propia

**Imagen 8.** Extrusoras ensambladas y en funcionamiento.



**Fuente:** elaboración propia

**Imagen 9.** Dado C990 y vivos de la cinta extruida.



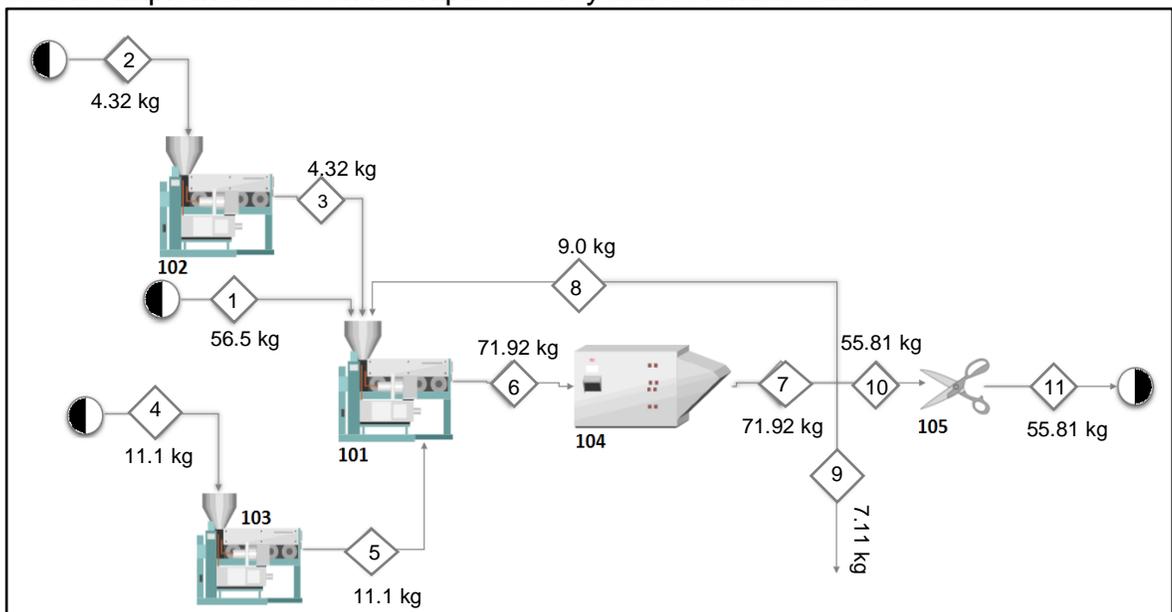
**Fuente:** elaboración propia

Los datos actuales del proceso de extrusión, se obtuvieron a partir de los sistemas de medición e instrumentación que tiene la planta, los cuales se tomaron del panel de control de la extrusora, del sistema de enfriamiento de esta y se mencionan a continuación:

- Velocidad del tornillo: 52.5 rpm
- Temperatura de extrusión estándar: 60°C
- Temperatura de enfriamiento del barril: 15.4 °C

**Extrusora.** La extrusora principal se alimenta con 0,82 kg/min del compuesto Z-30, dato que se obtuvo del seguimiento que se realizó de una orden específica requerida de 300 pares de cinta extruida, donde se alimentaron 56.5 kg de Z-301, en 69 minutos, iniciando el proceso de extrusión a las 11:38 AM y terminando a las 12:47 PM. Las extrusoras laterales se alimentan con 0.063 Kg/min de caucho azul y 0.16 kg/min de caucho rojo, lo que equivale a alimentar 4.32 kg de cinta azul (Z-210) y 11.1 kg de cinta roja (Z-302) en 69 minutos.

**Diagrama 1.** Diagrama de flujo del proceso (PFD) de elaboración de cinta de caucho implementado en la empresa Croydon Colombia S. A



**Fuente:** elaboración propia

**Nota:** El diagrama presentado es una representación del proceso actual de la elaboración de cinta de caucho extruida en Croydon Colombia S. A

**Cuadro 1.** Datos del balance de materia del proceso actual de extrusión de cinta de caucho

<b>CORRIENTE</b>	<b>CANTIDAD (kg)</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>TEMPERATURA DE OPERACIÓN (°C)</b>	<b>NOMBRE</b>
<b>1</b>	56.5	Z-301	101	Promedio 60	Extrusora principal
<b>2</b>	4.32	Z-210	102	Promedio 60	Extrusora Lateral
<b>3</b>	4.32	Z-210	102	Promedio 60	Extrusora Lateral
<b>4</b>	11.1	Z-302	103	Promedio 60	Extrusora Lateral
<b>5</b>	11.1	Z-302	103	Promedio 60	Extrusora Lateral
<b>6</b>	71.92	Cinta de caucho tricolor Caliente	104	-	Túnel de enfriamiento
<b>7</b>	71.92	Cinta de caucho tricolor "fría"	-	-	Banda transportadora
<b>8</b>	9.0	Reciclo de cinta blanca	-	-	Extrusora principal.
<b>9</b>	7.11	Desperdicio del vivo por dimensiones	-	-	Desperdicio
<b>10</b>	55.81	Cinta con dimensiones estables	105	-	Sistema de corte manual
<b>11</b>	55.81	Cinta recortada en tiras.	-	-	Almacenamiento

### Cuadro 1. (Continuación)

- Los valores del balance de masa provienen del seguimiento de realizó de una orden de 300 pares de cinta extruida que se solicitó en el segundo turno.
- Z-301 es el código utilizado para la mezcla de caucho color blanco.
- Z-210 es el código utilizado para la a la mezcla de caucho color azul.
- Z-302 es el código utilizado para la mezcla de caucho color rojo.
- La corriente 7, cuando la cinta sale fuera de especificaciones, se divide en las corrientes 8 y 9.
- Cuando la corriente 7 sale con las dimensiones aceptables del túnel de enfriamiento, se convierte en la corriente 10.
- Los valores de desperdicio del vivo y reciclo de cinta blanca pueden variar por cada orden requerida.

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 3.** Balance de las corrientes de materia del proceso actual de extrusión de cinta de caucho

<b>Corrientes</b>	<b>Cantidad (kg)</b>	<b>% Desperdicio</b>
<b>1</b>	56.5	-
<b>2</b>	4.32	-
<b>4</b>	11.1	-
<b>8</b>	9.0	12.51
<b>9</b>	7.11	9.88
<b>11</b>	55.81	-
<b>Total</b>	<b>71.92</b>	<b>22.39</b>

**Fuente:** elaboración propia

El **Diagrama 1** muestra el funcionamiento del proceso actual de extrusión, con el sistema de enfriamiento y de corte, obteniendo así los valores del **Cuadro 1** y la **Tabla 3** con los cuales se realizó el correspondiente balance de materia del proceso con la orden específica de 300 pares, en el cual ingresa un total de 71.92 kg de materia prima proveniente de las corrientes 1, 2 y 3, y salen 55.81 kg transformados en cinta y 16.11 kg son de reciclo y desperdicios, los cuales equivalen al 22,39% de desperdicio de cinta.

Teniendo en cuenta que 1 kg de cinta cuesta \$7619.11 COP, el costo del desperdicio de cinta para esta orden específica de 300 pares fue de \$122.743 COP

**2.1.3 Banda transportadora.** Las dos bandas transportadoras son las encargadas de darle continuidad al proceso de extrusión. El movimiento de cada una de las bandas es provisto de dos tambores giratorios, a los cuales se les regula su velocidad desde el panel de control de la extrusora, con el fin de estirar y evitar el sobre hinchamiento de la cinta a la salida del dado.

A pesar que la velocidad de giro de los tambores se regula desde el panel de control de la extrusora, no se cuenta con una pantalla para visualizar la velocidad de giro de los mismos, es por esto que no existe una velocidad estandarizada para la elaboración de la cinta, por tal razón, debe haber personal operativo con la capacidad de ajustar la banda a la velocidad adecuada para evitar que la cinta se deforme.

Al no tener un indicador de velocidad, se utilizó la **Ecuación 1**, la cual permitió hallar una velocidad promedio de 0.111 m/s en la banda de 1m (Banda 1) y una velocidad de 0.14 m/s en la banda de 4 m (Banda 2), midiendo el tiempo en que se demoraban las dos bandas en recorrer **un metro** y realizando el respectivo promedio de las velocidades obtenidas, como se observa en la **Tabla 4**.

**Ecuación 1.** Velocidad de la banda.

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Distancia}}{\text{Tiempo}}$$

**Tabla 4.** Velocidad de las bandas transportadoras

<b>Banda 1</b>		<b>Banda 2</b>	
<b>Medición [s/m]</b>	<b>Velocidad [m/s]</b>	<b>Medición [s/m]</b>	<b>Velocidad [m/s]</b>
9.978	0.100	7.254	0.137
9.123	0.109	7.178	0.139
8.742	0.114	6.886	0.145
8.713	0.115	7.163	0.139
8.906	0.112	7.351	0.136
8.809	0.113	7.289	0.137
<b>Promedio</b>	<b>0.11</b>	<b>Promedio</b>	<b>0.139</b>

**Fuente.** elaboración propia

La cinta extruida tiene una especificación dada por el área de diseño y desarrollo, por lo tanto, esta se debe cumplir a cabalidad en el proceso de producción.

La temperatura es otra variable de gran importancia para el proceso de extrusión; como guía se referencia la industria de producción de llantas, en donde, después de la extrusión, el caucho pasa por un proceso de trazabilidad y luego entra a un sistema de aspersión de agua, la cual entra en contacto directo con el caucho para disminuir la temperatura desde 120°C hasta 28°C llevándolo a su punto de estabilización, como afirma López, “El enfriamiento adecuado de los materiales de

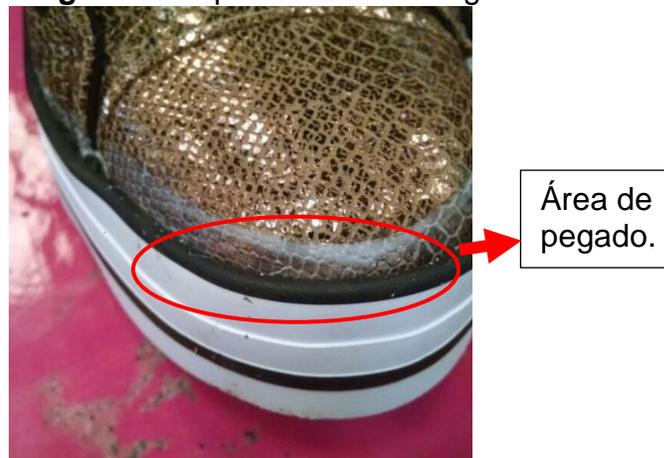
caucho semi-terminados es necesario para evitar la distorsión dimensional durante el almacenamiento y la utilización”<sup>17</sup>.

Se requiere la medición de las dimensiones y la temperatura antes y después del sistema de enfriamiento para obtener el rango de variación de las dimensiones respecto al enfriamiento.

El área de calidad es la encargada de inspeccionar la cinta antes de ser utilizada en la producción de calzado; ellos notaban cambios dimensionales que no correspondían a los estándares establecidos. Respecto a la disminución del ancho, la cinta no cubría en su totalidad el área demarcada del pegante, ocasionando que este quedara visible, como se observa en la **Imagen 10**, y el operario tuviera que retirar, desechar la cinta y sustituirla por una que si cubriera el contorno del pegante; por el contrario, cuando la cinta quedaba muy ancha, esta sobrepasaba el contorno del pegante. Una alternativa utilizada en la compañía consistía en que el personal operativo estirara la cinta para que esta redujera su ancho y cubriera exactamente el área de pegado que es de 28 mm; esta alternativa tiene un costo asociado a la generación de desperdicio adicional que ya está contemplado y cuantificado en la **Tabla 2**, pues al estirar la cinta se cubre el ancho, pero es un largo excesivo para el contorno del zapato, por lo cual ese sobrante de cinta debe ser cortado y desechado.

En el caso de que no se tome la alternativa de estirar la cinta, en el proceso de vulcanización, las partes sobrantes, que no estén en contacto con el pegante, se vulcanizan, pero no se adhieren al forro de lona, ocasionando el rechazo inmediato del producto terminado ya que no cumple con los estándares de calidad.

**Imagen 10.** Zapato con cinta delgada



**Fuente:** elaboración propia

<sup>17</sup> L.LÓPEZ, M, POVEDA; Diseño e implementación de un Sistema de agua de enfriamiento para la línea de extrusión de caucho Triplex de la compañía continental Tire andina S.A, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, 2015, Pág 28.

A continuación, se muestra la **Tabla 5** en la cual se evidencia el cambio dimensional del ancho de la cinta en 3 puntos del proceso productivo, antes del sistema de enfriamiento, después del sistema de enfriamiento y en el momento de utilizarse en la producción del zapato, en donde se evidencia que la distorsión dimensional entre el ancho de la cinta Antes y después del sistema de enfriamiento varía hasta en 3.17 mm, lo cual supera la tolerancia de  $\pm 1$  mm.

La diferencia entre las dimensiones del ancho de la cinta después de salir del túnel de enfriamiento, y en el proceso de producción, varían hasta en 1.24 mm, en donde se observa que a medida que la cinta dura más tiempo almacenada, las dimensiones tienden a volverse constantes, pues esta alcanza la temperatura de estabilización, sin embargo, la cinta no se estabiliza con las dimensiones correctas (iniciales).

**Tabla 5.** Dimensiones de la cinta extruida en el proceso (mm).

Antes del S.E	Después del S.E	Producción	$\Delta$ Antes S.E - Después S.E	$\Delta$ Después S.E - Producción
29,1	32,27	32,3	-3,17	-0,03
30,2	31,76	31,86	-1,56	-0,1
30,15	31,29	32,53	-1,14	-1,24
30,00	31,44	31,93	-1,44	-0,49
29,48	30,94	31,00	-1,46	-0,06
30,29	31,36	31,76	-1,07	-0,4

**Fuente:** elaboración propia

**Nota:** S.E corresponde a Sistema de Enfriamiento.

**2.1.4 Sistema de enfriamiento (túnel de enfriamiento).** El proceso de enfriamiento que utilizan en Croydon Colombia S.A tiene como fin utilizar un túnel con aire refrigerado para aumentar el gradiente de temperatura de la cinta de caucho. Ver **Imagen 11**.

**Imagen 11.** Túnel de enfriamiento actual.



**Fuente:** elaboración propia

Al ser un proceso de extrusión, se manejan temperaturas altas para los operarios, pues, aunque la temperatura que se mide en la extrusora es de 60°C, se logra apreciar que en el proceso de extrusión existen dos fuentes de calor para poder llevar el plástico a la temperatura deseada, “primero está el calor que se transmite por medio del barril y que por lo regular es generado por resistencias eléctricas, el otro es generado mediante la fricción causada por el tornillo y el material”<sup>18</sup>. Es por la fricción mencionada anteriormente que la extrusora tricolor de Croydon Colombia, en vez de tener resistencias que aumenten la temperatura interna del barril, tiene una chaqueta refrigerante que le retira calor, pues el caucho es tan viscoso que la interacción entre el polímero, el tornillo y el barril, hace que se genere una gran cantidad de calor, lo que podría ocasionar que el material se quemara, es por esto que la cinta sale a una temperatura mayor que la temperatura de trabajo de la extrusora, siendo esta de 85 °C.

Luego de ser extruida, la cinta es dirigida hacia el túnel de enfriamiento por medio de la banda transportadora, donde recorre 5 metros, en los cuales la cinta está en contacto con condiciones de temperatura ambiente y con el sistema de enfriamiento. Teniendo en cuenta estos factores, el promedio de disminución total de la temperatura de la cinta, desde la salida del dado hasta que llega al punto de corte es de 20.6°C, donde la disminución de temperatura en el túnel de enfriamiento es 6.6°C, lo que quiere decir que el contacto con el medio ambiente reduce la temperatura de la cinta en 14°C.

A continuación, se muestra la **Tabla 6** en la cual se evidencian las temperaturas de la cinta en diferentes puntos de la línea de extrusión.

**Tabla 6.** Temperaturas en diferentes puntos del proceso

<b>TEMPERATURA DE LA CINTA (°C)</b>			
<b>Salida Dado</b>	<b>Entrada S.E</b>	<b>Salida S.E</b>	<b>Punto de Corte</b>
84.4	72.4	70.2	66.2
84.6	70.0	68.6	64.6
84.6	73.8	63.8	62.8
84.6	73.4	66.4	62.6
84.4	76.4	67.4	63.3
84.4	77.6	68.8	64.2
84.6	74.8	66.8	63.4

**Fuente:** elaboración propia

**Nota:** S.E corresponde a Sistema de Enfriamiento.

<sup>18</sup>Gómez Gómez, J. J., & Gutiérrez Bedoya, J. E. (Noviembre de 2007). Diseño de una extrusora para plásticos. Pereira-Risaralda.

Siendo el sistema de enfriamiento el eje central de este proyecto, tiene como propósito disminuir la temperatura de la cinta y aumentar el gradiente de temperatura necesario para que esta llegue a su temperatura de estabilización y así mantenga sus dimensiones estables. Sin embargo, el sistema de enfriamiento actual no es adecuado para mantener controladas las dimensiones ( $28 \pm 1$  mm de ancho) de la cinta de caucho durante el almacenamiento y su utilización, como lo reafirma López<sup>19</sup>, debido a que el sistema de enfriamiento actual solo disminuye la temperatura de la cinta en 6.6 °C, dato que se obtuvo de hallar el promedio de la resta de las temperaturas de entrada y salida del sistema de enfriamiento actual de la **Tabla 6**.

Esta baja reducción de la temperatura no evita por completo la distorsión dimensional, aumentando los desperdicios en la línea de producción, los cuales ascienden a más de 100 millones de pesos según los datos registrados en la **Tabla 2**.

A continuación, se presenta el balance de energía del sistema de enfriamiento actual para un metro de cinta de caucho, el cual duró aproximadamente 11.51 segundos dentro del túnel de aire. Se utilizó una capacidad calorífica de 1531.04 J/KgK, la cual se obtuvo mediante la sumatoria de la multiplicación de la capacidad calorífica del estireno butadieno (SBR) ( $0.4 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F} = 1674.2 \text{ J/kgK}$ )<sup>20</sup> por el 75% más la capacidad calorífica del caucho natural ( $1100 \text{ J/kgK}$ )<sup>21</sup> por el 25%, debido a que la cinta contiene 70% de Estireno butadieno, 20% de caucho natural y 10% de otros polímeros, en donde se evidencia que el túnel de enfriamiento solo retira aproximadamente -100.52 J/s de la cinta de caucho, como se observa en la **Ecuación 2**, lo que equivale a retirar 1157 J en 11.5 segundos.

Adicionalmente en la **Ecuación 3** se calculó el flujo de aire que utiliza el sistema de enfriamiento para disminuir la temperatura de la cinta, el cual es de 0.1 kg/s, utilizando la capacidad calorífica del aire como  $1 \text{ KJ}/(\text{kg}^\circ\text{K})$ <sup>22</sup> y un  $\Delta T$  de -1 K, ya que la variación de la temperatura dentro del túnel de enfriamiento es mínima, prácticamente nula.

---

<sup>19</sup> L.LÓPEZ, M. POVEDA; op. cit. P 28.

<sup>20</sup> F. KREITH, D. YOGI, CRC handbook of Mechanical Engineering (2<sup>nd</sup> Ediciotn), Table C.16. Properties of Rubbers and Elastomer. 2004 [en línea] [Citado el 13/09/2018]. Disponible en internet en: <www.Knovel.com>

<sup>21</sup> Aislamiento y Estanquedad Erica, S.L., Capacidad Calorífica, Barcelona, [en línea] [Citado el 12/12/2018] Disponible en internet en: <http://www.ericas.es/web/aislamiento-termico/>

<sup>22</sup> Principles of Heating, Ventilating and Air conditioning (8th Edition) © 2017 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Table 2-3. Properties Of gases. [en línea] [Citado el 12/12/2018] Disponible en internet en: <https://app.knovel.com/>

**Ecuación 2.** Flujo de calor retirado de la cinta por medio del sistema de enfriamiento actual.

$$Q \cdot = m \cdot \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q \cdot = \frac{0.1145 \text{ kg}}{11.51 \text{ s}} * 1531.04 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (340.55 - 347.15) \text{K}$$

$$Q \cdot = -100.52 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

**Ecuación 3.** Flujo de aire utilizado en el sistema de enfriamiento actual.

$$m \cdot \text{aire} = \frac{Q \cdot}{C_p \text{ aire} \cdot \Delta T \text{ aire}}$$

$$m \cdot \text{aire} = \frac{-100.52 \frac{\text{J}}{\text{s}}}{1000 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} * (-1) \text{K}}$$

$$m \cdot \text{aire} = 0.1 \text{ kg/s}$$

**2.1.5 Corte.** El sistema de corte utilizado en la línea es manual, aunque está provista de un sistema de corte automatizado, no se usa debido a que la cinta sale caliente del túnel de enfriamiento, ocasionando que se pegue en el cortador automático y se acumule en la cuchilla desperdiciando cinta en la banda.

La **Imagen 12** muestra el sistema de corte automático del cual está provisto la línea de extrusión.

**Imagen 12.** Sistema de corte automático



**Fuente:** elaboración propia

Al no poder utilizar el método de corte automatizado, se utiliza personal operativo que realiza manualmente esta labor, cortando la cinta con tijeras y almacenándolas en los libros pertinentes, como se muestra en las **Imágenes 13 y 14**.

**Imagen 13.** Corte de cinta manual



**Fuente.** elaboración propia

**Imagen 14.** Libro de almacenamiento de cinta



**Fuente:** elaboración propia

Según lo visto a lo largo del capítulo, se puede resumir que el sistema de enfriamiento actual no es lo suficientemente potente para disminuir considerablemente la temperatura de la cinta, y aumentar su gradiente, por esta razón las dimensiones no se mantienen estables en el tiempo y se producen pérdidas de material en el proceso como se evidenciará más adelante.

### 3. DETERMINACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN

Al encontrar que en Croydon Colombia no se tiene estandarizado el proceso de extrusión de cinta de caucho, no se tiene un punto de partida claro para el proyecto. Para encontrar unas condiciones estables del proceso, se realizó un diseño de experimentos en el cual se tienen en cuenta variables como la velocidad de las bandas transportadoras, la temperatura de la cinta a la entrada del sistema de enfriamiento, el tiempo de inmersión, entre otras, para evaluarlas y así llegar al resultado deseado.

#### 3.1 PLANEACIÓN PRE-EXPERIMENTAL

En esta etapa se llevan a cabo los siguientes pasos para determinar el objetivo al cual se desea llegar con el diseño de experimentos.

**3.1.1 Determinación de la temperatura de estabilización de las dimensiones del caucho.** La finalidad de la extrusión es darle un perfil o forma determinada al caucho, a través de una tobera o dado; una vez obtenida la forma, el caucho es enfriado con agua o aire para darle estabilidad dimensional<sup>23</sup>.

Para hallar la temperatura a la que se estabilizan las dimensiones del caucho se realizó un montaje experimental, el cual tuvo como objetivo medir la temperatura y las distintas dimensiones que tomó la cinta, en intervalos de 20 segundos, durante 500 segundos (8.33 minutos). Los datos de las dimensiones y temperatura de la cinta se tomaron hasta que la oscilación de esta tuviese un comportamiento constante, ya que al pasar el tiempo se disminuye la temperatura y así mismo la amplitud de la oscilación de esta.

Al hallar la temperatura de estabilización del caucho, se encuentra la temperatura objetivo a la cual debe llegar el sistema de enfriamiento y así se puede calcular el gradiente de temperatura requerido para el proceso y para el balance de energía.

Teniendo el peso de un metro de cinta de caucho, la capacidad calorífica y el gradiente de temperatura al cual va a ser sometida la cinta, se puede hallar la cantidad de calor que se le debe retirar para enfriarla de manera correcta y hacer la correspondiente comparación con el sistema de enfriamiento por aire actual.

---

<sup>23</sup> Análisis de cadenas productivas, Generalidades de la cadena Petroquímica-Caucho, Departamento Nacional de Planeación. [en línea] [Citado el 24/09/2018]. Disponible en internet en: <<https://www.dnp.gov.co/programas/desarrollo-empresarial/paginas/analisis-cadenas-productivas.aspx>>

**3.1.2 Obtención de datos para el desarrollo experimental.** Se utilizó un pirómetro con una división de  $0.1^{\circ}\text{C}$  y un pie de rey marca Mitutoyo con una división de escala de  $0.01\text{ mm}$  con certificado de calibración en el anexo A, como se observa en la **Imagen 15**, con los cuales se tomaron los datos de temperatura y ancho de la cinta cada 20 segundos de 3 muestras de cinta con distintas longitudes, la primera de  $12\text{ cm}$ , la segunda de  $15\text{ cm}$  y la tercera de  $30\text{ cm}$ , para observar el comportamiento de las mismas respecto a la distorsión dimensional del ancho y su punto de estabilización.

Cabe resaltar que el ancho de las cintas sobre la banda era de  $30\text{ milímetros}$ , y al cortarlas en distintas longitudes, el ancho inicial cambia de manera significativa porque la cinta se contrae, estos cambios y resultados se muestran en las **Tablas 15, 16 y 17** del anexo B y sus respectivas **Gráficas 4, 5, 6, 7, 8 y 9** del anexo C.

**Imagen 15.** Montaje experimental para la determinación de la temperatura de estabilización del caucho.



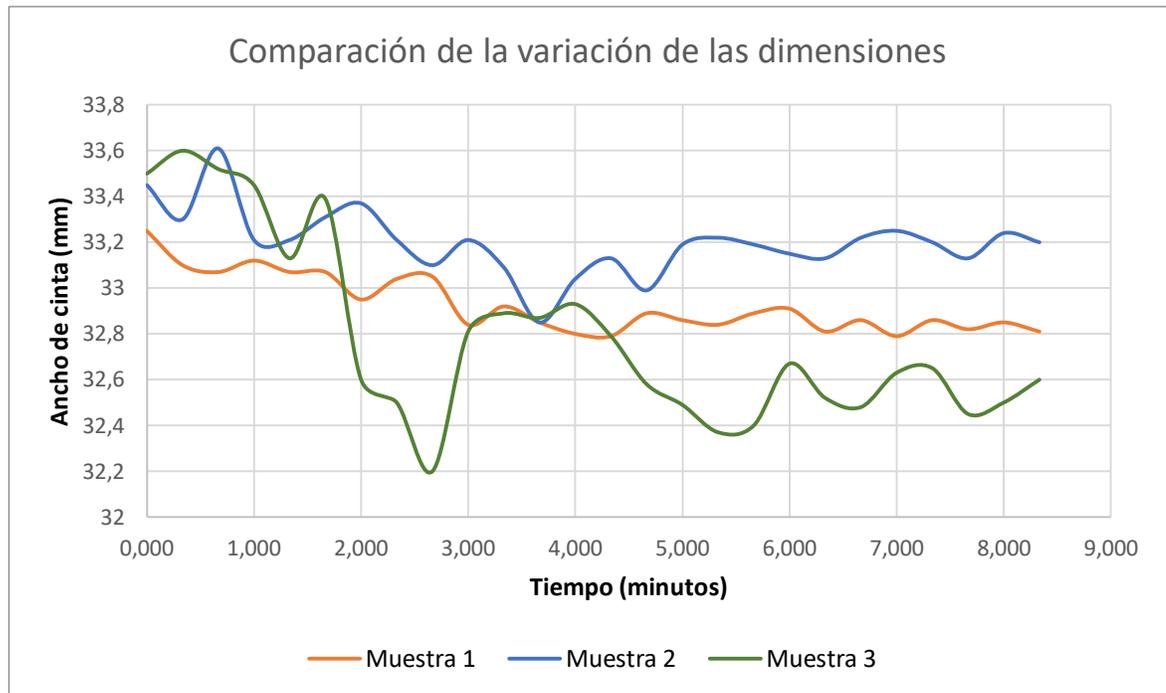
**Fuente:** Elaboración propia.

Para poder observar de manera más detallada el tiempo en el cual las dimensiones de la cinta tienden a ser constantes, se superpusieron las gráficas de Temperatura y Dimensiones del ancho de la cinta en función del tiempo, como se observa en las **Gráficas 1 y 2**.

Para efectos de poder comparar mejor las tres gráficas, la **Gráfica 9** (Ver anexo C) se subió  $2.5\text{ mm}$  en el plano vertical, lo que brinda una visión más amplia de la comparación de las 3 gráficas Dimensiones del ancho de la cinta en función de

tiempo. Esto se evidencia en la **Gráfica 1**, donde la línea que representa la muestra 3, está 2.5 mm más arriba que en la **Gráfica 9** (Ver anexo C).

**Gráfica 1.** Comparación de las dimensiones de las cintas respecto al tiempo de enfriamiento



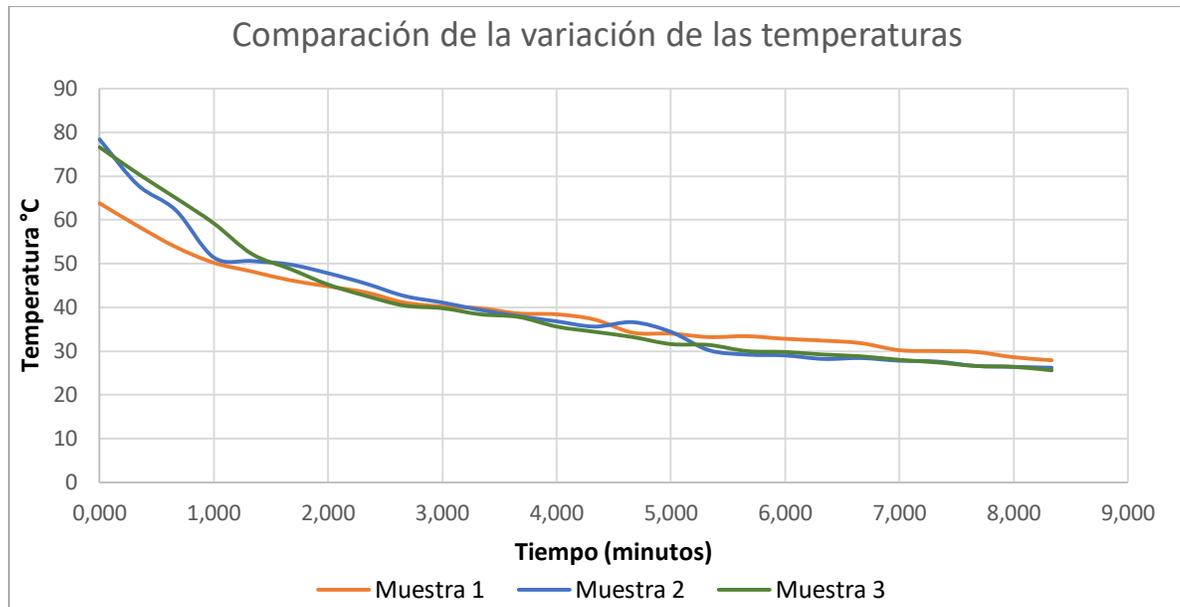
**Fuente:** Elaboración propia.

Como se puede apreciar en las **Gráficas 1, 4 y 5** (Ver anexo C), la muestra 1 presenta una disminución en la distorsión dimensional desde aproximadamente el minuto 5, en el cual se encontraba a una temperatura de 34 °C, punto en donde empiezan a estabilizarse sus dimensiones, empezando en 32.86 mm y terminando a los 8 minutos en 32.81 mm. En este rango de tiempo la oscilación de las dimensiones no fue mayor a 0.2 mm.

En las **Gráficas 1, 6 y 7** (Ver anexo C), se observa como la muestra 2 presenta también una disminución de la distorsión dimensional desde el minuto 5.33, en el cual la cinta se encontraba a 30.2 °C, punto en el cual empiezan a estabilizarse sus dimensiones empezando en 33.22 mm y terminando a los 8 minutos en 33.20 mm. En este rango de tiempo la oscilación de las dimensiones no fue mayor a 0.2 mm.

Las **Gráficas 8 y 9** (Ver anexo C), arrojan resultados acerca de la disminución de la distorsión dimensional de la muestra 3, más específicamente empezando en el minuto 6, en el cual la cinta se encontraba a 29.8 °C, punto en el cual empiezan a estabilizarse las dimensiones, empezando en 30.17 mm y terminando a los 8 minutos en 30.10 mm. En este rango de tiempo la oscilación de las dimensiones no fue mayor a 0.3 mm.

**Gráfica 2.** Comparación de las temperaturas de la cinta respecto al tiempo de enfriamiento



**Fuente:** Elaboración propia

La variación máxima en las dimensiones de cada una de las muestras de cinta de caucho fue de 0.46 mm, 0.76 mm y 1.4 mm respectivamente. Para hallar el porcentaje de variabilidad, en la **Ecuación 4**, se utilizó la variación de 1.4 mm como valor máximo.

$$\% \text{ Variabilidad} = \frac{\text{Variabilidad}}{\text{Variabilidad máxima}} * 100\%$$

**Ecuación 4.** Porcentaje de variabilidad.

$$\% \text{ Variabilidad muestra 1} = \frac{0.46 \text{ mm}}{1.4 \text{ mm}} * 100\% = 32.85\%$$

$$\% \text{ Variabilidad muestra 2} = \frac{0.76 \text{ mm}}{1.4 \text{ mm}} * 100\% = 54.28\%$$

$$\% \text{ Variabilidad muestra 3} = \frac{1.4 \text{ mm}}{1.4 \text{ mm}} * 100\% = 100.0\%$$

Los datos obtenidos por esta primera experimentación indican que las dimensiones de la cinta de caucho, en los primeros minutos, varían hasta 1.4 mm, y a medida que la temperatura va disminuyendo, esas oscilaciones también lo hacen, hasta el punto en donde la variación máxima es de 0.3 mm.

El rango de temperatura en donde la variación dimensional es mínima, es requerido para tener una temperatura final a la cual llegar con el sistema de enfriamiento por agua, y según los datos recolectados en el experimento realizado, la temperatura de estabilización del caucho de cinta Discovery varía entre 30°C y 35°C.

### 3.2 METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

En este numeral se estructura el modelo de diseño de experimentos más adecuado para la propuesta del sistema de enfriamiento.

**3.2.1 Planteamiento de hipótesis.** Una prueba de hipótesis es una regla que especifica si se puede aceptar o rechazar una afirmación acerca de una alternativa dependiendo de la evidencia proporcionada por una muestra de datos. Examina dos hipótesis opuestas sobre una alternativa: la hipótesis nula y la hipótesis alternativa. La hipótesis nula es el enunciado que se probará. Por lo general, la hipótesis nula es un enunciado de que "no hay efecto" o "no hay diferencia". La hipótesis alternativa es el enunciado que se desea poder concluir que es verdadero de acuerdo con la evidencia proporcionada por los datos de la muestra.<sup>24</sup>

Se utilizará el análisis de varianza ANOVA como medida a la explicación del diseño de experimentos que se escoja y sus respectivas hipótesis.

Este tipo de análisis utiliza la distribución de probabilidad continua de Fisher para aceptar o rechazar la hipótesis nula. La metodología de cálculo ANOVA consiste en hallar por medio de ecuaciones una serie de valores que van a permitir calcular un valor final llamado  $F_{\text{calculado}}$ , el cual será contrastado con un valor teórico que se encuentra en las tablas de Fisher. Cuando el valor teórico sea superior al calculado se acepta la hipótesis nula, cuando ocurra lo contrario se aceptará la hipótesis alterna.

A partir de la **Ecuación 5** se halla el valor  $F_{\text{calculado}}$ .

**Ecuación 5.** Fórmula para determinar el  $F_{\text{calculado}}$  por medio de la distribución Fisher

$$F_{\text{calculado}} = \frac{MCA}{MCE}$$

Donde:

- MCA corresponde al valor de cuadrados medios entre tratamientos
- MCE es el valor de cuadrados medios dentro de los tratamientos, mejor conocido como el error residual.

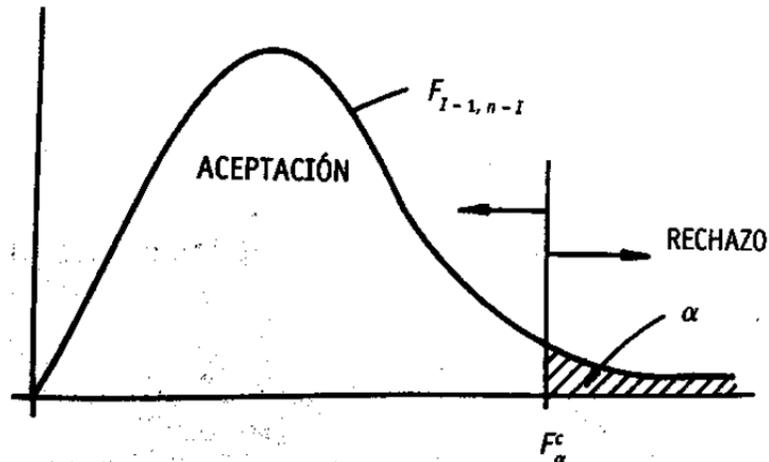
Por otra parte, el valor teórico de  $F$ , corresponde a un valor que con ayuda del nivel de significancia ( $\alpha$ ) y los grados de libertad se encontrara en tablas y se debe

---

<sup>24</sup> Minitab. ¿Qué es una prueba de hipótesis? [en línea] [[Citado el 19/09/2018] .Disponible en internet en: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/basics/what-is-a-hypothesis-test/>

especificar para el experimento. En la **Imagen 16** se puede observar que es un tipo de distribución asimétrica, en donde todos los valores que puede tomar F son positivos.

**Imagen 16.** Diagrama genérico de la distribución asimétrica.



**Fuente:** PEÑA, Daniel. Regresión y diseño de experimentos. Madrid, España. Alianza, 2010. p. 49.

Para realizar los métodos se hará uso del programa software Microsoft Excel® y de la herramienta análisis de datos.

De acuerdo a lo explicado en el **numeral 3.1**, planeación pre-experimental, se plantea el conjugado de dos hipótesis nulas y dos hipótesis alternas, un conjugado en relación a los tratamientos (Temperatura del agua de servicio) y el otro conjugado en relación a los bloques (Tiempo de inmersión de la cinta en el agua):

#### **Conjugado 1: Hipótesis de tratamientos.**

**Hipótesis nula:** No hay efecto de la temperatura del agua sobre la distorsión dimensional de la cinta de caucho.

**Hipótesis alterna:** Si hay efecto de la temperatura del sobre la distorsión dimensional de la cinta de caucho.

#### **Conjugado 2: Hipótesis de bloques.**

**Hipótesis nula:** No hay efecto del tiempo de inmersión de la cinta en el agua, sobre la distorsión dimensional de la cinta de caucho.

**Hipótesis alterna:** Si hay efecto del tiempo de inmersión de la cinta en el agua, sobre la distorsión dimensional de la cinta de caucho.

**3.2.2 Clasificación de variables dependientes e independientes.** Se definen las variables de acuerdo a sus características, las cuales pueden ser dependientes o independientes:

Las variables **independientes** tienen dos modos de utilizarse:

- Son controlables cuando se pueden manipular a voluntad propia durante la experimentación.
- No son controlables cuando influyen en la variable de respuesta.

Las variables **dependientes** son la respuesta a la interacción de las variables independientes.

Para la evaluación del diseño de experimentos se definió como variable de respuesta la temperatura de la cinta a la salida del sistema de enfriamiento por agua, la cual será la temperatura de estabilización de la cinta de caucho.

Las variables que se consideran en el diseño de experimentos se relacionan en el **Cuadro 2**, en donde las variables que son controlables (Independientes) harán parte del experimento al que se hará referencia en este capítulo, las demás son variables que no se pueden modificar (Dependientes), pero deben tenerse en cuenta para analizar los datos que se obtendrán.

**Cuadro 2.** Clasificación de las variables involucradas en el proceso.

<b>Variables o factores</b>	<b>Independiente</b>	<b>Dependiente</b>	<b>Justificación</b>
Velocidad de las bandas		<b>X</b>	Este factor no es controlable debido a las especificaciones de la empresa.
Temperatura del agua de servicio	<b>X</b>		Es una variable controlable debido a que afecta la temperatura de la cinta a la salida del sistema de enfriamiento
Temperatura de la cinta antes del S.E	<b>X</b>		No se puede controlar esta variable, pues no se le pueden hacer modificaciones a la extrusora, pero influye en la variable de respuesta
Temperatura de la cinta después del S.E		<b>X</b>	Es la variable de respuesta, por ende está sujeta a los cambios de otras variables.
Tiempo de inmersión de la cinta	<b>X</b>		Dependiendo de la velocidad de banda constante, se puede calcular el tiempo de inmersión y así mismo el tamaño y volumen del recipiente (batea).

**Fuente:** elaboración propia

Según los criterios expuestos en el **Cuadro 2**, se tomaron como variables independientes, es decir, controlables, la temperatura del agua de servicio y el tiempo de inmersión de la cinta, y a su vez la manipulación de estas repercutirá directamente en la variable de respuesta: temperatura de la cinta después del sistema de enfriamiento.

**3.2.3 Eleccion del diseño de experimento.** Un diseño de bloques aleatorizado es apropiado cuando el objetivo del experimento es comparar los efectos de diferentes tratamientos (Temperaturas del agua de servicio) el cual tiene distintos rangos de condiciones experimentales en presencia de otra variable denominada el factor bloque (Tiempo de inmersión de la cinta). Esta estrategia de diseño mejora efectivamente la precisión en las comparaciones al reducir la variabilidad residual. En la práctica, las situaciones en las que este diseño se aplica son muy numerosas y pueden identificarse fácilmente.<sup>25</sup>

Según lo explicado en los párrafos anteriores, se escoge un diseño de bloques aleatorizado para el estudio de las pruebas experimentales que se realizaron con el sistema de enfriamiento con agua para la cinta de caucho extruido a escala piloto.

Los valores obtenidos de la experimentación, por medio del diseño de bloques aleatorizados, más conocida como ANOVA.

**3.2.4 Niveles del diseño de experimentos.** El tratamiento es la variable de interés, cuyo posible efecto sobre la respuesta es el que se quiere estudiar. Los niveles de un factor tratamiento son los tipos o grados específicos del factor que se tendrán en cuenta en la realización del experimento<sup>26</sup>.

Los factores bloque (factores de bloqueo) mantienen constante el nivel del factor tratamiento para un grupo de unidades experimentales. Luego de realizar el experimento a esas condiciones constantes, se cambia a otro nivel para otro grupo y así sucesivamente<sup>27</sup>.

Por lo explicado anteriormente, el factor tratamiento del proyecto es la temperatura de agua de servicio, la cual cuenta con dos niveles (Dos temperaturas de agua de servicio), y cada uno de estos con tres repeticiones. El factor bloque es el tiempo de inmersión con 3 niveles, que equivale a tres tiempos distintos, lo que genera una combinación factor-bloque propicia para un diseño de bloques aleatorizado.

---

<sup>25</sup> García Leal, J. & Lara Porras, A.M. (1998). "Diseño Estadístico de Experimentos. Análisis de la Varianza." Grupo Editorial Universitario. Capítulo 5 .p2

<sup>26</sup>Planificación de un experimento, [en línea] [Citado el 18/10/2018]. Disponible en internet en : <[http://dm.udc.es/assignaturas/estadistica2/sec2\\_3.html](http://dm.udc.es/assignaturas/estadistica2/sec2_3.html)>

<sup>27</sup> Planificación de un experimento, op.cit

**3.2.5 Nivel de significancia.** Indica el nivel máximo aceptable de riesgo de rechazar una hipótesis nula verdadera, también se considera como la probabilidad de error que es inherente a la prueba.<sup>28</sup> Este valor que a partir de ahora se denotará como  $\alpha$ .

En el diseño de experimentos existen dos tipos de errores: Tipo I, en donde se rechaza la hipótesis nula (la cual se define posteriormente) en caso de que esta sea verdadera y; Tipo II, cuando se acepta dicha hipótesis siendo falsa. Si  $\alpha$  es muy pequeño ( $< 0,05$ ), disminuye la probabilidad de caer en el error tipo I pero aumenta la posibilidad de caer en el de tipo II, por lo cual, según lo investigado en Minitab un nivel de significancia  $\geq 0,05$  es significativo (Indicando un 5% de probabilidad de equivocación) y funciona adecuadamente.

Por esa razón, para el diseño experimental a realizar se tomó un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ .

### 3.3 INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO

Para medir las variables independientes del proceso se requiere una serie de instrumentos los cuales se listan en el **Cuadro 3**:

Seguido de los instrumentos planteados en el **Cuadro 3**, se plantea la instrumentación básica del sistema de enfriamiento por agua.

En la extrusora principal (EX101) se requiere un indicador de temperatura para las tres zonas del sistema de extrusión, alimentación, transición y dosificado<sup>29</sup>.

El sistema de enfriamiento requiere de un transmisor de temperatura que esté inmerso en el agua, el cual le envía señales al controlador indicador de temperatura del chiller para que haga las correcciones necesarias y mantenga estable la temperatura del agua de servicio, garantizando así el enfriamiento correcto de la cinta de caucho extruido.

---

<sup>28</sup> Minitab. ¿Qué valor debo usar para el nivel de significancia?, [en línea], [Citado el 18 de septiembre del 2018]. Disponible en internet en: <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/introductoryconcepts/p-value-and-significance-level/significance-level/>

<sup>29</sup> M. BELTRÁN, A. MARCILLA, Tecnología de polímeros Procesado y propiedades, Tema 4. Extrusión, Universidad de Alicante, 2012, p 102.

**Cuadro 3.** Instrumentos de medición.

<b>Variables o factores</b>	<b>Instrumento de medición</b>	<b>Especificación de equipos</b>	<b>Justificación</b>
Temperatura del agua de servicio	Sensor de temperatura del Chiller	<b>Termocupla<sup>30</sup></b> <b>Voltaje de entrada:</b> 3.0 a 5.5 V <b>Rango de temperatura:</b> -55°C a 125 °C <b>Precisión:</b> ±0.5°C a 10 °C	Medida con el sensor de temperatura del Chiller, se leerá en el display de este, el cual a su vez la controlará para mantenerla en el set point seleccionado (17±1°C).
Temperatura de la cinta después del S.E	Indicador de temperatura	<b>Pirómetro de radiación<sup>31</sup></b>  <b>Rango de temperatura:</b> Máximo 1600°C	El sensor infrarrojo del pirómetro permite medir la temperatura de la cinta evitando el contacto directo el cual puede causar una imperfección en la cinta.
Tiempo de inmersión de la cinta	Indicador de tiempo	<b>Cronómetro digital<sup>32</sup></b>  <b>Resolución:</b> 0.001 segundos	Teniendo una velocidad de banda constante, se calcula el tiempo de inmersión, el tamaño y el volumen de la batea. El cronómetro se utiliza para ratificar que el tiempo de inmersión es el adecuado

**Fuente:** elaboración propia

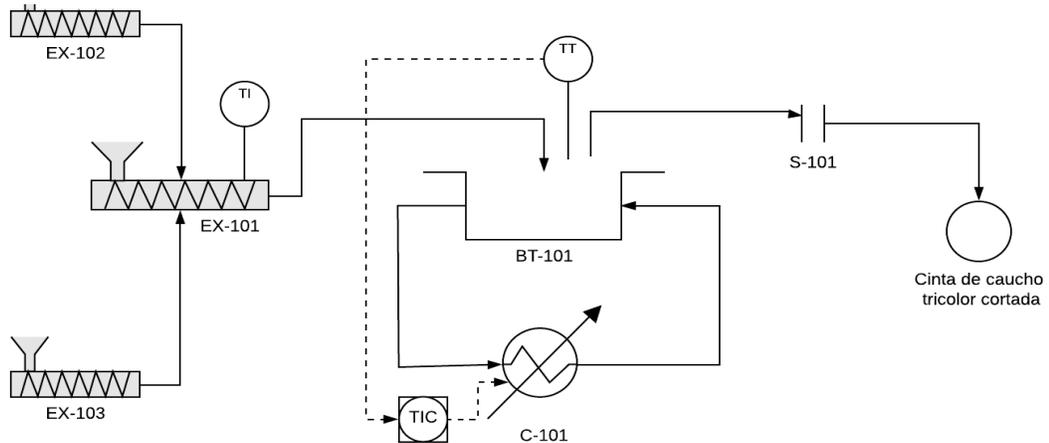
<sup>30</sup> Sensor de temperatura de agua (DS18B20) [en línea] [Citado el 06/12/2018] Disponible en internet en: <http://trobotica.co/sensor-de-temperatura-de-agua-ds18b20/152.html>

<sup>31</sup> Pirómetro de radiación, [Online] [Citado el 06/12/2018] Disponible en: <http://www.memtec.es/tipos-de-pirometro-para-que-sirven/>

<sup>32</sup> Funcionamiento y tipos de cronómetros. [en línea] [Citado el 06/12/2018], Disponible en internet en: [http://www.cenam.mx/eventos/enme/docs/38%20Funcionamiento%20y%20Tipos%20de%20cronometros%20\[Modo%20de%20compatibilidad\].pdf](http://www.cenam.mx/eventos/enme/docs/38%20Funcionamiento%20y%20Tipos%20de%20cronometros%20[Modo%20de%20compatibilidad].pdf)

A continuación, se muestra el **Diagrama 2**, el cual muestra la instrumentación básica requerida por el proceso y en el **Cuadro 4** se describen las siglas utilizadas en él.

**Diagrama 2.** Instrumentación del proceso



**Fuente:** elaboración propia

**Cuadro 4.** Siglas del diagrama 2.

<b>Sigla</b>	<b>Nombre</b>
EX -101 - 102 - 103	Extrusoras 1, 2 y 3.
BT-101	Batea
C-101	Chiller (Enfriador)
S-101	Sistema de corte manual (Tijeras)
TI	Indicador de temperatura
TT	Transmisor de temperatura
TIC	Controlador indicador de temperatura

**Fuente:** elaboración propia

### 3.4 PROCEDIMIENTO DE EXPERIMENTACIÓN

En este numeral se abarcó el procedimiento experimental realizado para el montaje en escala piloto del sistema de enfriamiento con agua en la línea de extrusión de cinta de caucho.

Para realizar de manera experimental la propuesta de un sistema de enfriamiento con agua, se tomaron como variables independientes, la temperatura del agua de servicio y el tiempo de inmersión.

La temperatura del agua varía respecto al requerimiento del sistema. Se experimentaron dos temperaturas de agua de enfriamiento, debido a que el Chiller estaba trabajando cerca a estas ( $15\pm 1^{\circ}\text{C}$  y  $17\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) con tres distancias de inmersión de cinta de caucho en bateas de 1, 1.5 y 2 m de largo (La selección de las dimensiones de la batea se realizó de acuerdo al espacio disponible en planta para la operación del sistema de enfriamiento por agua), las cuales se simularon con tres tiempos de inmersión (9.09 seg, 13.36 seg y 18.18 seg) como se observa en las **Ecuaciones 5, 6 y 7**, obteniendo así, la temperatura de la cinta a la salida del sistema de enfriamiento por agua, la cual fue la variable de respuesta planteada en el diseño de experimentos.

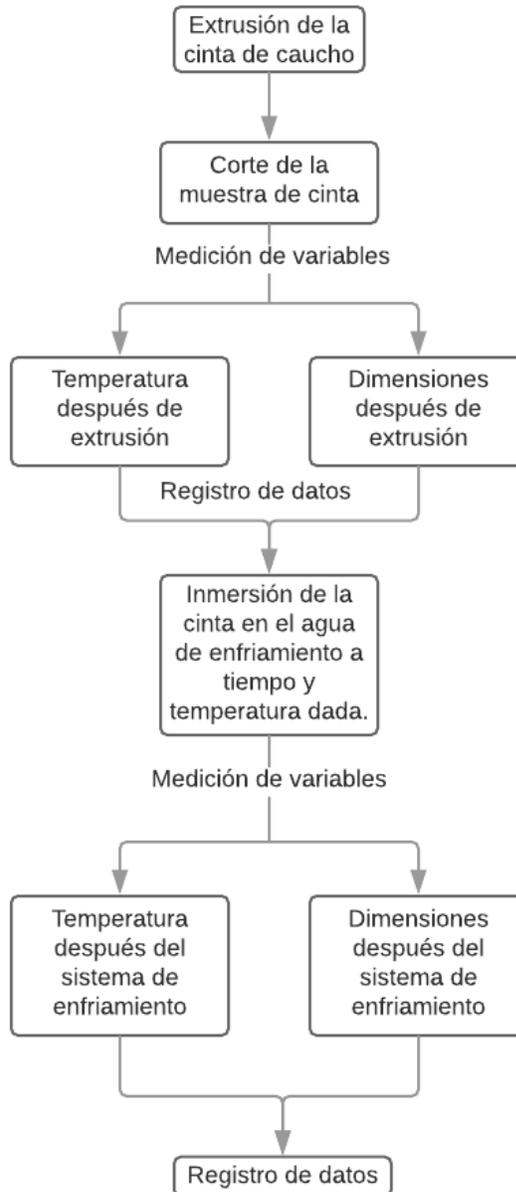
También se midieron las dimensiones, con un pie de rey, antes y después de someter la cinta al proceso de enfriamiento, y así se encontró la temperatura del agua de enfriamiento y el tiempo de inmersión, al cual se estabilizaron las dimensiones.

En el **numeral 3.1.2** se observa el comportamiento de la cinta de caucho con el paso del tiempo hasta llegar a su temperatura de estabilización, esta varía entre  $30^{\circ}\text{C}$  a  $35^{\circ}\text{C}$ , por lo que este es el rango de temperatura objetivo a alcanzar en el desarrollo experimental.

Según este rango de temperatura, y la influencia de las variables manipuladas, se desarrolló un diseño de bloques aleatorizados con su respectivo ANOVA para comprobar o rechazar las hipótesis planteadas según los datos obtenidos en el proceso experimental.

A continuación, en el **Diagrama 3** se describe el proceso de experimentación paso a paso.

**Diagrama 3.** Procedimiento de la experimentación.



**Fuente.** Elaboración propia

**3.4.1 Variación de la temperatura del agua de servicio y del tiempo de inmersión de la cinta en el agua.** El objetivo principal de este experimento fue comprobar la temperatura y el tiempo de inmersión adecuados para llevar la cinta de caucho al punto de estabilización, para que mantenga sus dimensiones constantes.

Se llega a los tiempos de inmersión mencionados anteriormente, simulando bateas con distancias de 1, 1.5 y 2 metros, teniendo en cuenta que la banda transportadora opera a una velocidad promedio de 0.11 m/s, por lo que se realizan los siguientes cálculos presentados en las **Ecuaciones 6, 7 y 8**.

**Ecuación 6.** Tiempo de retención para batea de 1 metro.

$$\text{tiempo de inmersión} = \frac{\text{distancia}}{\text{velocidad}} = \frac{1\text{m}}{0.11 \text{ m/s}} = 9.09 \text{ s}$$

**Ecuación 7.** Tiempo de retención para batea de 1.5 metros.

$$\text{tiempo de inmersión} = \frac{\text{distancia}}{\text{velocidad}} = \frac{1.5\text{m}}{0.11 \text{ m/s}} = 13.63 \text{ s}$$

**Ecuación 8.** Tiempo de retención para batea de 2 metros.

$$\text{tiempo de inmersión} = \frac{\text{distancia}}{\text{velocidad}} = \frac{2\text{m}}{0.11 \text{ m/s}} = 18.18 \text{ s}$$

### 3.5 EXPERIMENTACIÓN

Durante el tiempo de extrusión de la cinta Discovery, y con un montaje piloto del sistema de enfriamiento, en el cual se utilizó una batea piloto con dimensiones de 40 cm de largo, 30 cm de ancho y 20 cm de alto, como se observa en la **Imagen 17**. En las **Imágenes 18 y 19** se observa la experimentación, donde se evaluó la influencia de las variables, temperatura del agua de operación y tiempo de inmersión, en el comportamiento de la distorsión dimensional de la cinta, obteniendo así 18 datos de temperatura y 18 datos de dimensiones señalados en los **Cuadros 5, 6 y 7**, para analizar con el método mencionado en el diseño de experimentos ANOVA.

**Imagen 17.** Montaje piloto del sistema de enfriamiento.



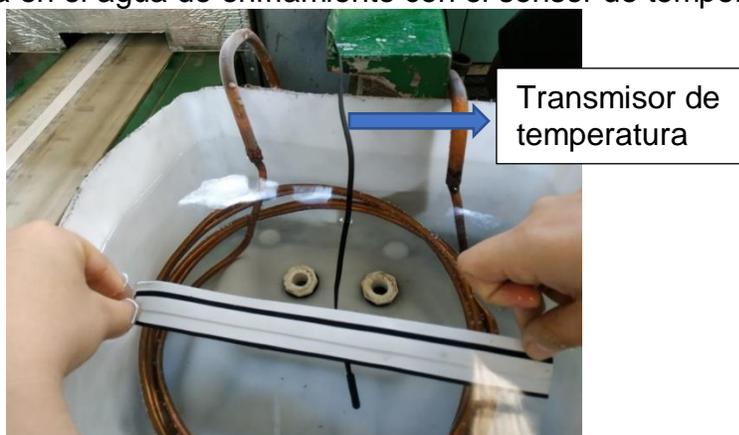
**Fuente:** elaboración propia

**Imagen 18.** Display de chiller del sistema de enfriamiento a 15°C.



**Fuente:** elaboración propia

**Imagen 19.** Cinta en el agua de enfriamiento con el sensor de temperatura.



**Fuente:** elaboración propia

**Cuadro 5.** Datos de temperaturas y diámetros de la cinta antes y después del sistema de enfriamiento por agua con tiempo de retención de 9.09 segundos.

T. Agua servicio	Tiempo de inmersión				
	9,09 segundos (1 metro)				
T inicial [°C]	D inicial [mm]	T Final [°C]	D final [mm]	Peso cinta [g]	
15±1°C	68,4	32,58	28,2	32,39	31,91
	73,8	32,49	26	32,4	36,74
	62,6	33,36	29,8	33,48	22,52
17±1°C	71,8	32,42	31,4	32,6	19,58
	71,2	31,66	32,2	32,34	30,7
	71,4	32,34	32,4	32,27	23,48

**Fuente:** elaboración propia

**Cuadro 6.** Datos de temperaturas y diámetros de la cinta antes y después del sistema de enfriamiento por agua con tiempo de retención de 13.63 segundos.

<b>Tiempo de inmersión</b>					
<b>13,63 segundos (1,5 metros)</b>					
<b>T. Agua servicio</b>	<b>T inicial [°C]</b>	<b>D inicial [mm]</b>	<b>T Final [°C]</b>	<b>D final [mm]</b>	<b>Peso cinta [g]</b>
15±1°C	69,8	32,85	28,4	32,62	28,81
	71,4	31,44	27,2	31,73	21,56
	71,4	32,44	27,8	32,86	21
17±1°C	71,4	30,87	27,6	31,07	22,06
	71,2	31,75	28,08	32,04	23,49
	72,4	32,16	28,08	32,68,	26,33

**Fuente:** elaboración propia

**Cuadro 7.** Datos de temperaturas y diámetros de la cinta antes y después del sistema de enfriamiento por agua con tiempo de retención de 18.18 segundos

<b>Tiempo de inmersión</b>					
<b>18,18 segundos (2 metros)</b>					
<b>T. Agua servicio</b>	<b>T inicial [°C]</b>	<b>D inicial [mm]</b>	<b>T Final [°C]</b>	<b>D final [mm]</b>	<b>Peso cinta [g]</b>
15±1°C	70,4	32,86	22,2	32,75	21,45
	69,6	32,02	23,6	31,58	32,54
	70,4	31,74	24,2	31,62	15,72
17±1°C	74	33,01	23,4	32,83	31,37
	73,8	32,12	22,9	32,45	27,84
	73,5	32,54	22,5	32,05	25,21

**Fuente:** elaboración propia

Se realizó una tabla en la cual se registraron los datos de la variable de respuesta del experimento, y así se determinó el efecto de las temperaturas del agua de servicio y los tiempos de inmersión.

Para ello se aplicó un diseño aleatorizado por bloques, mediante la prueba de cada temperatura de agua de servicio en un orden aleatorio con cada tiempo de retención. Para el análisis de la varianza de los datos, se utilizó un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .

Los datos aparecen a continuación en el **cuadro 8**.

**Cuadro 8.** Datos de Temperaturas de la cinta después de pasar por el sistema de enfriamiento con diferentes tiempos de retención y temperaturas de agua de servicio.

T. Agua servicio	Tiempo de inmersión		
	9,09segundos	13,63 segundos	18,18 segundos
15±1°C	28,2	28,4	22,2
	26	27,2	23,6
	29,8	27,8	24,2
17±1°C	31,4	27,6	23,4
	32,2	28,08	22,9
	32,4	28,08	22,5

**Fuente:** elaboración propia

### 3.6 ANÁLISIS DE DATOS

En este numeral se analizaron los datos obtenidos con el modelo de interpretación de los resultados del diseño de experimentos ANOVA y su correspondiente explicación.

Se realizó un diseño de bloques aleatorizado, y los datos obtenidos se calcularon mediante un ANOVA, donde el método exige hallar el valor de  $F_{\text{calculado}}$ , mediante los datos obtenidos por las interacciones entre los tratamientos y el factor bloque, y contrastarlo con el valor teórico.

El factor tratamiento es la temperatura de agua de servicio, con dos niveles y cada nivel con tres repeticiones y el factor de bloque es el tiempo de retención, con 3 niveles.

**Cuadro 9.** Análisis de varianza de tratamientos y bloques.

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{Teórico}}$
Temperatura agua de servicio.	11,251	5	2,250	0,928	3,326
Tiempo de inmersión	148,144	2	74,072	30,561	4,103
Error	24,238	10	2,424		
Total	183,633	17			

**Fuente:** elaboración propia

Los cálculos del **Cuadro 9**, análisis de varianza, se obtuvieron a partir de la herramienta “Análisis de datos” de Microsoft Excel® para los diferentes valores de temperaturas de salida de la cinta del sistema de enfriamiento, usando como referencia los datos del **Cuadro 8**.

Para analizar estos datos, se requiere saber si el valor del F calculados es mayor o menor al F teórico para aceptar o rechazar el conjugado de las hipótesis, este valor de  $F_{\text{Teórico}}$  se encuentra en las tablas de Fisher en relación a los grados de libertad según cada tratamiento contra error y cada factor bloque contra error.

En el **Cuadro 9** se calculan 4 tipos de grados de libertad, con los cuales se calculan los valores del  $F_{\text{Teórico}}$ <sup>33</sup>.

- En el primero, en relación con los tratamientos (Temperatura de agua de servicio), se realiza la operación  $g-1$ , donde  $g$  es la suma de las repeticiones por cada tratamiento, lo que conlleva a la siguiente operación  $6-1=5$ .
- Respecto al segundo, en relación con el factor bloque, se realiza la operación  $k-1$ , donde  $k$  es el número total de bloques (Tiempo de inmersión), lo que conlleva a la operación  $2-1=1$ .
- Los grados de libertad totales se calculan con la fórmula  $n-1$ , donde  $n$  es el número total de datos obtenidos en el diseño de experimentos, lo que conlleva a la operación  $18-1=17$ .
- Los grados de libertad del error se calculan con la resta de los grados de libertad totales menos la suma de los grados de libertad de tratamientos y bloques, lo que conlleva a la operación  $17- (5+1) =11$ .

Según la información que brinda el **Cuadro 9**, para el factor temperatura de agua de servicio, el F calculado es menor al F teórico ( $0.928 < 3.326$ ). Teóricamente indica que se acepta la hipótesis nula “No hay efecto de la temperatura del agua sobre la distorsión dimensional de la cinta de caucho”, sin embargo, los datos obtenidos revelan que no hay suficiente evidencia estadística para determinar el efecto de la temperatura del agua de servicio sobre la distorsión dimensional de la cinta.

El análisis de varianza demuestra que no hay una diferencia significativamente estadística de la temperatura del agua de servicio, dado que el promedio de los cuadrados de la temperatura del agua de servicio es muy cercano al promedio de los cuadrados del error. Esto se produce porque los rangos de temperatura utilizados en la experimentación son relativamente muy cercanos, su diferencia es de 2°C. Por esta razón el conjugado de hipótesis referente al tratamiento no se acepta, pero tampoco se rechaza.

---

<sup>33</sup> J. OTERO, A. HERRARTE, ANÁLISIS DE LA VARIANZA, 2005, [en línea] [Citado el 23/10/2018], Disponible en internet en: <[https://www.uam.es/personal\\_pdi/economicas/eva/pdf/anova.pdf](https://www.uam.es/personal_pdi/economicas/eva/pdf/anova.pdf)>

Por otra parte, en el análisis de varianza en relación al tiempo de inmersión se obtienen resultados opuestos al factor temperatura del agua de servicio, el F calculado es mayor al F teórico ( $30.561 > 4.103$ ) lo que indica que se rechaza la hipótesis nula, la cual dice “No hay efecto del tiempo de inmersión de la cinta en el agua, sobre la distorsión dimensional de la cinta de caucho.” Y se afirma que si hay un efecto significativo en el tiempo de inmersión de la cinta en el agua.

En la hipótesis aceptada se analiza la influencia de los tres tiempos de inmersión, 9.09 segundos, 13.63 segundos y 18.18 segundos, en relación a la simulación de las tres dimensiones de inmersión en la batea (1 metro, 1.5 metros y 2 metros), teniendo en cuenta una velocidad de banda constante de 0.11m/s, y cómo esa diferencia de tiempos se refleja en la temperatura de estabilización de las dimensiones del caucho y a su vez en la variación dimensional de la misma.

Para escoger la temperatura y el tiempo de inmersión más adecuados para el sistema de enfriamiento, se tomó como temperatura objetivo el rango hallado en el **numeral 3.1.2**, el cual arrojó una temperatura de estabilización de la cinta de 30 a 35°C. Seguidos por este lineamiento, el tiempo de retención de 9,09 segundos y una temperatura de agua de servicio de  $17 \pm 1^\circ\text{C}$  son los que más se ajustan a ese rango, obteniendo resultados de temperatura de la cinta a la salida del sistema de enfriamiento de 31.4°C, 32.2°C y 32.4°C.

Con los datos de las dimensiones iniciales y finales obtenidos en los **Cuadros 5, 6, y 7**, se realizó la resta de estos valores, con el fin de verificar que la distorsión dimensional no fuese mayor a  $\pm 0.5$  mm con respecto al valor de dimensión medido antes de ingresar al sistema de enfriamiento. Ver **Tabla 18** en el Anexo B. Se utilizó una incertidumbre de  $\pm 0.5$  mm, debido a que el estándar utilizado en la compañía es de  $\pm 1$  mm.

A raíz de esto se elaboró la **Gráfica 3**, para verificar que las dimensiones no sobrepasaran los límites establecidos.

**Gráfica 3.** Datos de incertidumbre en las mediciones obtenidas.



**Fuente:** elaboración propia

Como se observa en la **Gráfica 3**, el quinto dato, referente a la diferencia entre las dimensiones iniciales y finales de la segunda repetición del ensayo a  $17\pm 1$  °C y 9.09 segundos de inmersión, del **Cuadro 5**, sobresale del límite inferior establecido. Este dato se puede presentar por un error de medición humano, pues al momento de realizar la experimentación, no se contaba con el tiempo suficiente, debido a que la orden requerida por producción era muy pequeña (70 pares de cinta). Por esto había que realizar las mediciones en un tiempo muy corto y a su vez el material disponible para realizar la medición (Cinta de caucho recién extruida) era reducido, por lo tanto, no se podían hacer más repeticiones del ensayo.

De acuerdo a la explicación anterior, también se sustenta la desviación de la medición en el punto 12.

En resumen, y según los datos obtenidos en este capítulo, las condiciones de operación del sistema de enfriamiento deben estar controladas por el chiller, teniendo un agua de enfriamiento entre 16 a 18 °C por aproximadamente 9 segundos, para que la cinta llegue a su temperatura de estabilización de 30 a 35°C, evitando la distorsión dimensional y su desperdicio.

## 4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PROPUESTO

Después de obtener el resultado del diseño de experimentos, la temperatura del agua de servicio y el tiempo de inmersión apropiados, se realizarán las especificaciones técnicas del proceso de enfriamiento de la cinta. Para esto se plantea la propuesta de un sistema de enfriamiento por agua para la cinta de caucho, que garantice las características que debe tener este material para ser utilizado posteriormente en el proceso productivo, reduciendo así el desperdicio de la misma. Garantizando las características dimensionales de la cinta y las especificaciones del sistema de enfriamiento, se espera reducir los 4 cm de tolerancia a 1 cm, disminuyendo en aproximadamente un 75% las pérdidas de material.

### 4.1 CONDICIONES GENERALES DEL PROCESO.

Es importante recalcar, que para que se pueda llevar a cabo un posible montaje del sistema de enfriamiento por agua para cinta de caucho, se deben tener en cuenta algunas condiciones generales como lo son:

- **Servicios:** La empresa debe contar con el servicio del agua, para poner en funcionamiento el sistema de enfriamiento, y de energía eléctrica para suplir la alimentación eléctrica del chiller para enfriar dicha agua.
- **Infraestructura:** Para poder realizar un montaje del sistema de enfriamiento, se debe reacomodar toda la línea de extrusión de cinta de caucho, pues la incorporación de este sistema añade distancia y espacio al proceso. Esta línea de extrusión se evidencia en los **Planos 1 y 2**.

### 4.2 PROPUESTA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AGUA PARA LA CINTA DE CAUCHO EXTRUIDO

Actualmente no se aprovecha al 100% la cinta de caucho extruida, pues no existe una metodología eficiente en la compañía para evitar la distorsión dimensional de la cinta durante su proceso de enfriamiento y almacenamiento. Por esta razón se propone un sistema de enfriamiento por agua para llevar el caucho a su temperatura de estabilización, que varía entre 30°C y 35°C, y así garantizar que sus dimensiones, las cuales especificó el área de diseño y desarrollo que deben ser de  $28 \pm 1$  mm, se mantengan estables en todo el proceso productivo.

En el capítulo 3 se explicó qué realizando el enfriamiento de la cinta de caucho por medio de agua, se puede llegar a la temperatura en donde las dimensiones de esta no varían, utilizando el agua de servicio a  $17 \pm 1$  °C durante 9.09 segundos de inmersión.

### 4.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ENFRIAMIENTO DE LA CINTA DE CAUCHO EXTRUIDO CON AGUA

Actualmente en Croydon Colombia S.A, se utiliza como método de enfriamiento de la cinta de caucho un túnel de enfriamiento por aire, el cual sólo reduce en aproximadamente 6.6°C la temperatura del caucho, desde 74°C hasta 67.4°C (Datos promediados de la temperatura de la cinta a la entrada del sistema de enfriamiento por aire y temperatura de la cinta a la salida del sistema de enfriamiento por aire de la **Tabla 6**), provocando que la cinta pueda tener problemas en la variación de las dimensiones en el proceso posterior<sup>34</sup>, lo cual causaría su rechazo por parte del área de calidad y su respectivo reproceso o en dado caso, desecho del caucho.

Para cumplir con el objetivo de este proyecto, el cual es enfriar de manera correcta la cinta de caucho, se hizo una descripción del proceso de enfriamiento de la cinta por agua para minimizar la variación de las dimensiones y así mismo disminuir la pérdida de material en el proceso en aproximadamente 75%, reduciendo el estándar establecido de 4 cm de corte, a máximo 1 cm.

La cinta que sale de la extrusora es llevada por la banda transportadora de 1 metro hacia el sistema de enfriamiento, donde fue sumergida durante aproximadamente 9 segundos a 17±1°C y seguirá su línea gracias a unos rodillos giratorios inmersos en el agua que permiten la continuidad del proceso. Después, la cinta fría entra en contacto con la banda transportadora de 4 metros donde será cortada manualmente a la nueva longitud (Estándar de ±1 cm) y almacenada en los respectivos libros por el personal operativo.

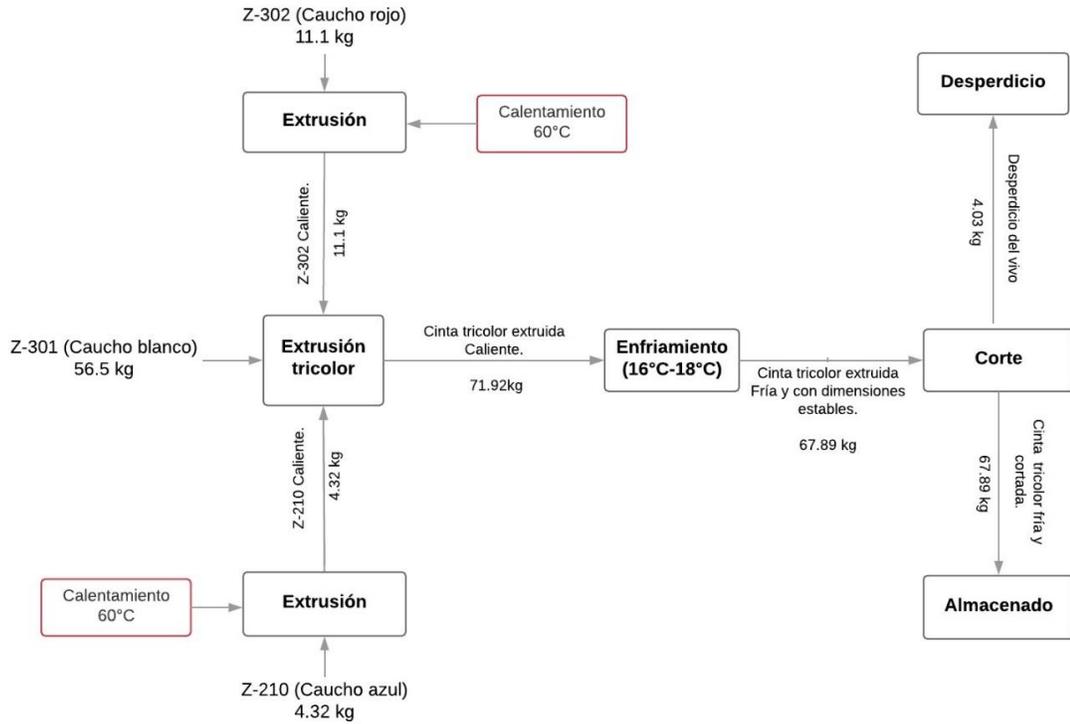
El **Diagrama 4** (Diagrama de procesos) y **5** (Diagrama PFD), representan lo anteriormente dicho, basándose en los datos del **Cuadro 1**, en donde los valores del balance de masa provienen del seguimiento que realizó a una orden de 300 pares de cinta extruida, la cual disminuyó la pérdida de material en 75%, pasando de 16.11kg de desperdicio a 4.03 kg de desperdicio.

En el **Cuadro 10** se anotan las condiciones del proceso y las convenciones presentes en el **Diagrama 5**.

---

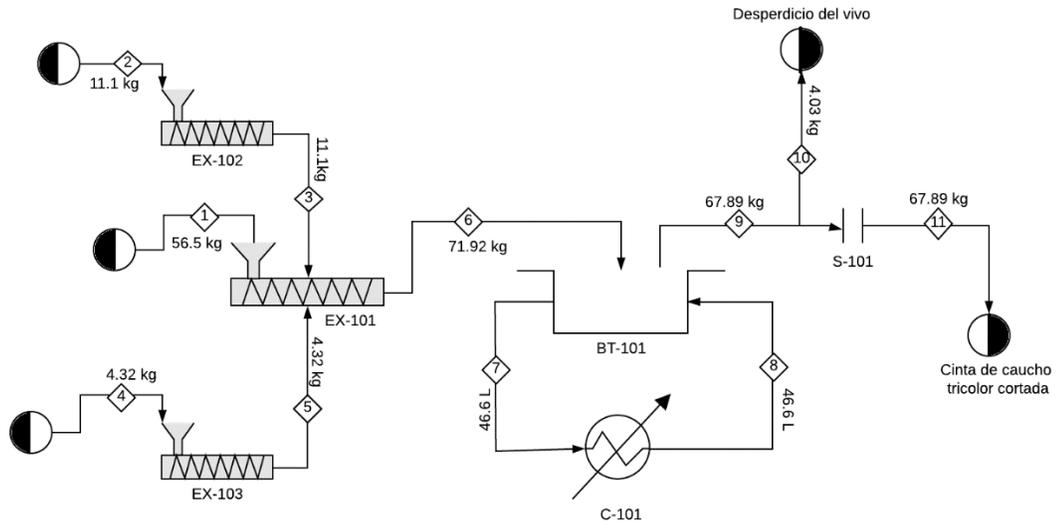
<sup>34</sup> L.LÓPEZ, M. POVEDA; op. cit. P 28.

**Diagrama 4.** Diagrama de bloques del sistema de enfriamiento por agua.



**Fuente:** elaboración propia

**Diagrama 5.** PFD del sistema de enfriamiento por agua.



**Fuente:** elaboración propia

**Cuadro 10.**Corrientes del diagrama 5. PFD del sistema de enfriamiento por agua.

CORRIENTE	CANTIDAD (kg)	MATERIAL	EQUIPO	TEMPERATURA DE OPERACIÓN (°C)	NOMBRE
1	56.5	Z-301	EX -101	Promedio 60	Extrusora principal
2	11.1	Z-302	EX -102	Promedio 60	Extrusora Lateral
3	11.1	Z-302	EX -102	Promedio 60	Extrusora Lateral
4	4.32	Z-210	EX -103	Promedio 60	Extrusora Lateral
5	4.32	Z-210	EX -103	Promedio 60	Extrusora Lateral
6	71.92	Cinta de caucho tricolor Caliente	BT-101	-	Túnel de enfriamiento
7	46.6	Salida de agua tibia a la batea	C-101	17±1°C	Chiller
8	46.6	Entrada de agua fría de la batea	C-101	17±1°C	Chiller
9	67.89	Cinta de caucho fría con dimensiones estables	-	-	Sistema de corte manual
10	4.03	Desperdicio del vivo	-	-	Desperdicio
11	67.89	Cinta recortada en tiras.	-	-	Almacenamiento

- Z-301 es el código utilizado para la mezcla de caucho color blanco.
- Z-210 es el código utilizado para la a la mezcla de caucho color azul.
- Z-302 es el código utilizado para la mezcla de caucho color rojo.
- Los valores de desperdicio del vivo pueden variar por cada orden requerida.
- La cantidad de agua se halló mediante el balance de energía y el dimensionamiento del sistema de enfriamiento.

**Fuente:** elaboración propia

#### 4.4 CONDICIONES DEL PROCESO

En la implementación del sistema de enfriamiento por agua para la cinta de caucho, se tienen en cuenta las condiciones de enfriamiento de la cinta, logrando que sus dimensiones se mantengan estables a lo largo del tiempo.

Como se obtuvo en el capítulo 3, la temperatura del enfriamiento debe estar entre 16°C y 18°C, con un tiempo de inmersión de 9.09 segundos que simulan una distancia de inmersión de 1 metro, así la cinta llegará a su temperatura de estabilización que se encuentra entre 35°C y 30°C en donde sus dimensiones no variarían en más de 0.5 mm de ancho. El sistema de enfriamiento se empleará de manera continua para los tres turnos de la línea de extrusión debido a que se utilizará para enfriar todas las referencias de cintas de caucho de la compañía.

Para este fin se utilizan los equipos mencionados y descritos a continuación:

**4.4.1 Batea.** Para llevar a cabo el sistema de enfriamiento, se requiere de un recipiente para almacenar el agua de enfriamiento y mantenerla dentro de dicho recipiente a una temperatura de  $17\pm 1$  °C y así favorecer el enfriamiento y transferencia de calor de la cinta de caucho cuando está en contacto con el agua. Debido a esto se escoge como recipiente una batea de acero inoxidable, ya que este material evita la formación de óxidos o cualquier reacción que pueda tener el material entre el recipiente y el agua.<sup>35</sup>

En la batea deberá entrar la cinta aproximadamente a 74°C con una velocidad promedio de 0.11 m/s y deberá salir entre 30°C y 35°C.

Cuando se realizó la parte experimental del proyecto, se escogió la opción de simular una distancia de inmersión de 1 metro que garantiza que la cinta salga a las temperaturas mencionadas anteriormente.

Se sobredimensiona la batea en un 30%, debido a que se necesita más de un metro de largo para obtener la distancia de inmersión de la cinta requerida, obteniendo así una batea de 1.3 metros de largo, con un diámetro de 0,4 metros.

En el interior de la batea se fijan rodillos giratorios los cuales garantizaran el movimiento de la cinta dentro del recipiente, su salida y la continuidad del proceso.

**4.4.2 Agua.** El agua utilizada en el sistema de enfriamiento debe estar entre 16°C y 18°C, y no debe tener dureza para evitar incrustaciones en los equipos.

---

<sup>35</sup> L.LÓPEZ, M, POVEDA; opt cit , Pag 29.

El tratamiento adicional del agua antes de la introducción en el sistema de enfriamiento depende de su fuente, se debe utilizar algún método de eliminación de contaminantes para el agua, y esta debe tener un pH de  $6.5 \pm 1.0$  y así evitar que esta se salga de ese rango, previniendo que no se vuelva corrosiva al estar al contacto con el material de la batea, o por otro lado, afecte propiedades estéticas de la cinta de caucho <sup>36</sup>.

Con esta especificación se evitan contaminantes que puedan producir formación de micro cavidades de aire provocando una mala construcción en el material o vulcanización de este.<sup>37</sup> No se debe permitir el uso de agua recirculada que venga de otros procesos o de otros sistemas de enfriamiento de la compañía.

**4.4.3 Chiller.** Es una máquina de refrigeración que por lo general sirve para enfriar un líquido y su función principal es estabilizar y/o mantener la temperatura deseada del líquido que se está refrigerando. La circulación del agua refrigerada se proporciona desde el interior mediante bombeo mecánico por una de las partes del chiller, dicho bombeo garantiza un buen rendimiento y un consumo óptimo de energía en el sistema, por otro lado, este sistema utiliza una torre de enfriamiento para la eliminación de calor, un condensador, compresor, evaporados, tuberías, controles y terminales.

Por último, la unidad terminal denominada serpentín, es la unidad que logra una transferencia de calor al área que se quiere climatizar (Agua de servicio), la cual se espera que sea  $17^{\circ}\text{C} \pm 1$  y será leída en el panel de control del chiller.

**4.4.4 Balance de energía para el sistema de enfriamiento.** Para realizar el balance de energía requerido en el sistema de enfriamiento con agua, se toma la transferencia de calor que existe entre la cinta y el agua de enfriamiento y se asume un estado estacionario para el sistema cinta - agua.

La variación de temperatura se obtiene de promediar las temperaturas de entrada al sistema de enfriamiento presentes en la **Tabla 6** ( $74^{\circ}\text{C}$ ) y la temperatura a la cual se estabilizan las dimensiones de la cinta ( $30^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$ ). El valor de temperatura de salida del sistema de enfriamiento que se toma para los cálculos de la transferencia de calor es de  $30^{\circ}\text{C}$ , por ende, el valor del gradiente de temperatura se toma como  $44^{\circ}\text{C}$ .

---

<sup>36</sup> L.LÓPEZ, M, POVEDA; opt cit , Pag 28

<sup>37</sup> L.LÓPEZ, M, POVEDA; opt cit , Pag 25

Teniendo en cuenta esto, para dichos cálculos es necesario conocer las siguientes variables:

**m** = Masa de 1 metro de cinta en kilogramos (0.1145 kg)

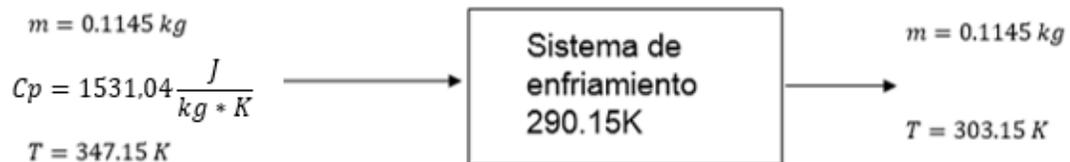
**Tiempo de inmersión de la cinta** = 9.09 segundos

$\Delta T$  = Variación de temperatura (347.15 – 303.15) K o 44°C

**Cp** = Capacidad calorífica de la cinta de caucho (  $1531.04 \frac{J}{kg \cdot K}$  )

Ver **Diagrama 6**

**Diagrama 6.** Balance de energía sistema de enfriamiento por agua.



**Fuente:** elaboración propia

Hay que recalcar que se utilizó el tiempo de inmersión de 9.09 segundos y una capacidad calorífica de 1531.04 J/kgK, la cual se obtuvo sumando la multiplicación de la capacidad calorífica del estireno butadieno ( $0.4 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F} = 1674.2 \text{ J/kgK}$ )<sup>38</sup> por el 75% más la capacidad calorífica del caucho natural ( $1100 \text{ J/kgK}$ )<sup>39</sup> por el 25%, debido a que la cinta contiene 70% de Estireno butadieno, 20% de caucho natural y 10% de otros polímeros como se muestra en la **Ecuación 9**.

**Ecuación 9.** Capacidad calorífica de la cinta de caucho.

$$(Cp \text{ SBR} * 0.75) + (Cp \text{ Caucho natural} * 0.25) = Cp \text{ Cinta de caucho}$$

$$Cp \text{ Cinta de caucho} = \left(1674.2 \frac{J}{kgK} * 0.75\right) + \left(1100 \frac{J}{kgK} * 0.25\right) = 1531.04 \frac{J}{kgK}$$

A continuación, se realiza el cálculo de la **Ecuación 10** para obtener el flujo calor retirado de la cinta de caucho por segundo.

La temperatura del sistema de enfriamiento se mantendrá constante y variará en máximo 2°C gracias al Chiller, por lo que se propicia una buena transferencia de calor entre el agua de enfriamiento y la cinta de caucho. Por esta razón se planteó la **Ecuación 11** en donde se representa dicho balance de energía y se halla el flujo

<sup>38</sup> F. KREITH, D. YOGI, CRC. Op.cit

<sup>39</sup> Aislamiento y Estanquedad Erica, op.cit

de agua requerida por el sistema de enfriamiento, utilizando el Cp del agua como 4186 J/(kgK)<sup>40</sup> y una variación de temperatura del agua de 2°C.

**Ecuación 10.** Calor retirado de la cinta por medio del sistema de enfriamiento con agua.

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q = \frac{0.1145 \text{ kg}}{9.09 \text{ s}} * 1531.04 \frac{\text{J}}{\text{kg} * \text{K}} (303.15 - 347.15) \text{ K}$$

$$Q = -848.55 \text{ J/s}$$

**Ecuación 11.** Flujo de agua requerida para el sistema de enfriamiento

$$m \text{ agua} = \frac{Q}{C_p \text{ agua} * \Delta T \text{ aire}}$$

$$m \text{ agua} = \frac{-848.55 \frac{\text{J}}{\text{s}}}{4186 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} * (289 - 291) \text{ K}}$$

$$m \text{ agua} = 0.1 \text{ kg/s}$$

El flujo de calor que se debe retirar de un metro de cinta (0.1145 kg) para que llegue a su temperatura de estabilización es de -848.55 J/s, lo que equivale a retirar una cantidad de -7713.38 J en 9.09 segundos.

El sistema de enfriamiento por aire solo retira 1157 J, 6556.38 J menos de los que necesita realmente la cinta para estabilizar sus dimensiones.

El flujo de agua requerido para enfriar de manera correcta la cinta de caucho es de 0,1 kg/s, lo que equivale a utilizar 0,92 kg de agua en 9,09 segundos para enfriar la cinta de caucho caliente y estabilizar sus dimensiones.

Con la cantidad mínima de agua requerida para enfriar la cinta se dimensionará la batea para obtener sus dimensiones. Cabe anotar que dentro de la batea deben ir una serie de rodillos cilíndricos los cuales permiten el flujo de la cinta a través del agua fría. Por lo tanto, aunque se requiera solamente 1 litro por de agua para enfriar la cinta, se requiere más espacio dentro de la batea para que el sistema funcione correctamente.

<sup>40</sup> Food Processing Technology - Principles and Practice (3rd Edition) © 2009 Woodhead Publishing, Table 10.1 Specific Heat of Selected Foods and Other Materials [en línea] [Citado el 08/12/2018] Disponible en internet en: <<https://app.knovel.com/>>

Hay que recalcar que el sistema de enfriamiento utilizará un Chiller con capacidad de enfriamiento de 8 Galones (30.28 L), así que este valor deberá ser sumado al volumen que tendrá la batea para obtener la cantidad de agua a utilizar.

Para asegurar la inmersión correcta de 1 metro de cinta en el agua, se asumirá que el largo de la batea será de mínimo 1.3 metros, los rodillos que irán inmersos en la batea miden aproximadamente 20 centímetros de largo, por lo tanto, el radio de la batea será de 0.1 metros. Ver **Ecuación 12**.

**Ecuación 12.** Volumen de un semicilindro.

$$\text{Volumen batea} = \left( \frac{1}{2} \pi r^2 L \right)$$

$$V = \left( \frac{1}{2} \pi * 0.1\text{m}^2 * 1.3\text{m} \right) = 0,020 \text{ m}^3 = 20.42 \text{ L}$$

$$V \text{ batea} = 20.42 \text{ L} * 0.8 = \mathbf{16.33 \text{ L}}$$

Matemáticamente se necesitan aproximadamente 20 Litros de agua para llenar la batea, por otra parte, se llenará el 80% de la batea con agua y el 20% restante de la batea se queda sin llenar, evitando así problemas de rebosamiento y desperdicio de agua. En ese sentido, solo se requerirán 16 litros de agua para llenar la batea y 46.6 litros para el sistema de enfriamiento en total, los cuales se reemplazarán cada 15 días en su totalidad para mantener el agua limpia y una buena transferencia de calor.

**4.4.5 Sistema de corte manual.** El personal operativo debe cortar las cintas de caucho con unas tijeras, teniendo en cuenta el nuevo estándar de reducción de desperdicio de cinta, donde no se debe exceder en más de 1 centímetro de largo de acuerdo a la dimensión requerida por la talla del zapato.

**4.4.6 Almacenamiento.** Al ser un compuesto de caucho sin vulcanizar, el espacio de almacenamiento debe ser fresco, estar libre de polvo y moderadamente ventilado, la mejor temperatura de almacenamiento está entre 15°C y 25°C, según lo dicta la norma DIN 7716<sup>41</sup>, debe también evitarse el almacenamiento en zonas húmedas y con una humedad relativa menor al 65%.

Al tener las condiciones de almacenamiento controladas, se procederá a guardar los libros con la cinta en un área designada para este fin.

---

<sup>41</sup> Normas de almacenamiento de elastómeros según la norma DIN 7716, 2013 [en línea] Disponible en internet en: <[https://www.ttv-gmbh.de/fileadmin/user\\_upload/Dichtungen/Technische\\_Infos/](https://www.ttv-gmbh.de/fileadmin/user_upload/Dichtungen/Technische_Infos/)>

## 4.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

Para la implementación del sistema de enfriamiento por agua para la cinta de caucho, se necesita de algunos equipos que Croydon Colombia no posee actualmente.

Las especificaciones de los equipos a implementar son datos comerciales los cuales se dictan a continuación:

**4.5.1 Chiller.** Este representa el primer equipo a implementar en el sistema de enfriamiento por agua para la compañía Croydon Colombia. Este equipo se encuentra disponible en la compañía y trabaja bajo el criterio de mantener la temperatura del agua de refrigeración constante en el rango establecido de 16°C a 18°C, y así facilitar el enfriamiento uniforme de la cinta de caucho. Ver **Cuadro 11**.

**Cuadro 11.** Chiller de enfriamiento

	
<b>COSTO</b>	906 USD
<b>POTENCIA</b>	1800 BTU/h
<b>CAPACIDAD</b>	8 Galones
<b>DIMENSIONES</b>	1 metro de largo, 0.8 metros de ancho y 1.5 metros de alto.

**Fuente:** elaboración propia

**4.5.2 Batea en acero inoxidable.** Este sería el segundo equipo en el sistema de enfriamiento, para la escogencia de este equipo se tuvo en cuenta que debe ser resistente al impacto, evite la formación de óxidos o cualquier otra reacción que pueda existir entre el material de la batea y el agua. Se prohíbe la utilización de material de latón.<sup>42</sup>

En el interior de la batea se deben instalar rodillos giratorios que permitan la continuidad de la cinta en el proceso.

Por esa razón se seleccionó la batea del **Cuadro 12.**

**Cuadro 12.** Batea en acero inoxidable

	
<b>COSTO</b>	500 USD
<b>DIMENSIONES</b>	1.3m de largo 0.4m de diámetro 0.2 de profundidad
<b>CALIBRE</b>	Cal 18 ref 304
<b>MATERIAL</b>	Acero inoxidable

**Fuente:** elaboración propia

**4.5.3 Suavizador de agua.** Es un equipo para el tratamiento del agua a utilizarse en el proceso. Este consiste en la eliminación de calcio y magnesio del agua dura. La implementación de este equipo se realiza, para evitar que en la tubería interna del Chiller se generen incrustaciones, las cuales la deterioran y disminuyan su efectividad.

Los suavizadores de la empresa Carbotecnia garantizan que la producción de dureza será removida casi por completo del agua a tratar. Este equipo ya viene armado y listo para instalar y consta de un tanque de fibra de vidrio, una válvula de montaje superior, un regenerador por tiempo o por consumo de agua, resina

<sup>42</sup> L.LÓPEZ, M, POVEDA; opt cit , Pag 29.

catiónica y un tanque de salmuera<sup>43</sup>. Las dimensiones, capacidad y costos del equipo se presentan en el **Cuadro 13**

**Cuadro 13.** Suavizador 16" x 65"

	
<b>COSTO</b>	380 USD
<b>VOLUMEN DEL MEDIO FILTRANTE</b>	4 ft <sup>3</sup> , resina catiónica.
<b>DIMENSIONES</b>	16" diámetro x 65" altura
<b>FLUJO DE AGUA</b>	40 a 50 litros por minuto

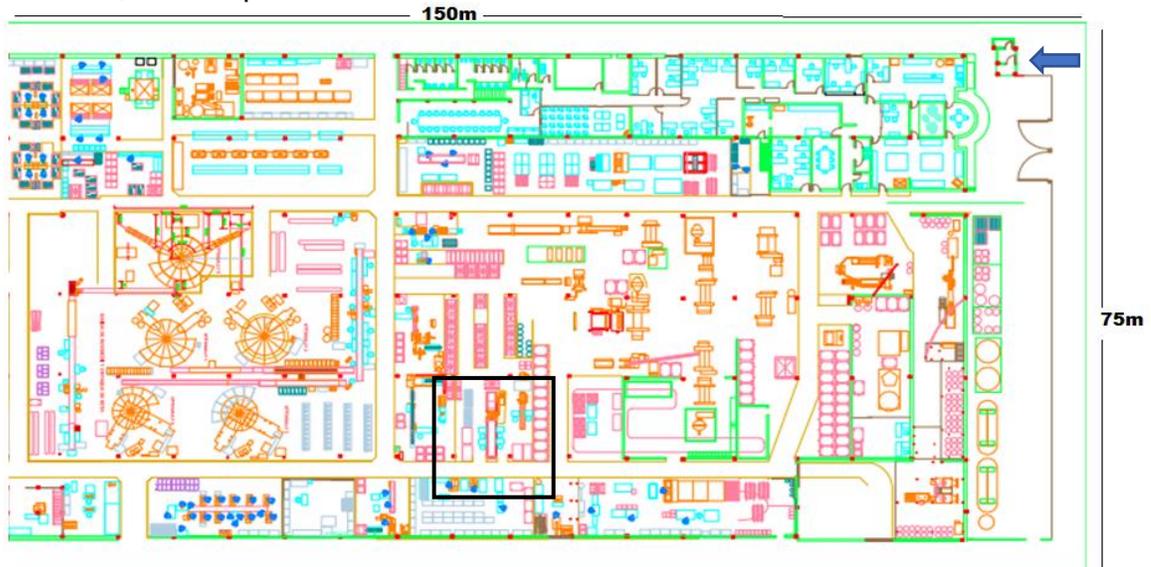
**Fuente.** carbotecnica - elaboración propia

#### 4.6 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

El **Plano 1** representa la planta de producción de bota PVC y bota de caucho de la empresa Croydon Colombia S.A., donde se lleva a cabo el proceso de producción de la cinta de caucho extruida, en el cual se puede identificar plenamente la ubicación del sistema de extrusión y almacenamiento de cinta, y a su vez las operaciones unitarias más importantes del proceso

<sup>43</sup>Carbotecnia, S. d. (11 de octubre de 2018). *Carbotecnia*. Obtenido de <https://www.carbotecnia.info/>

**Plano 1.** Planta de producción de bota PVC, bota de caucho y cinta de caucho extruida, vista superior.



**Fuente:** Croydon Colombia S.A.

### Convenciones

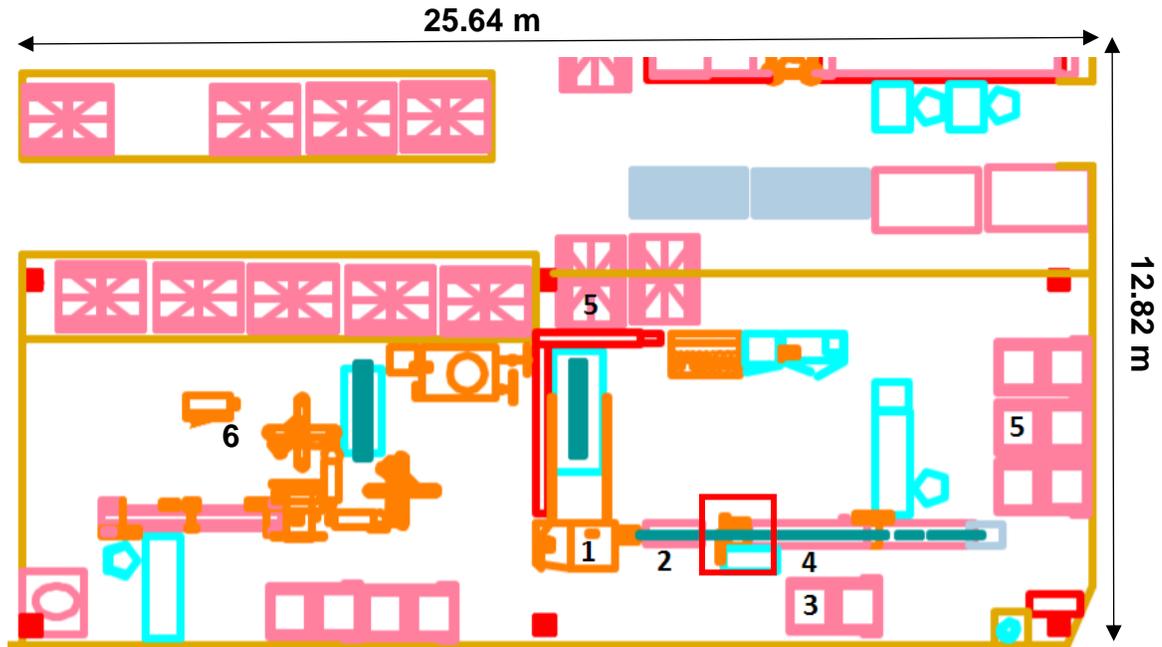
□ : Línea de extrusión en la cual se pondrá el sistema de enfriamiento.

➡ : Entrada a la planta de producción.

Se escogió la línea de extrusión de cinta de caucho para poner en funcionamiento los equipos por las siguientes razones:

- El sistema de enfriamiento debe ir en línea con el sistema de extrusión, por consiguiente, debe ir en la misma zona, y en concordancia, con el sistema de extrusión, corte y almacenado.
- Existe área disponible para implementar nuevos equipos como la batea y el suavizador, los cuales ocuparían un espacio significativo, pero acomodando la segunda línea de extrusión en paralelo con la línea de extrusión de cinta de caucho, se puede obtener el espacio necesario para implementar todo el conjunto del sistema de enfriamiento.

**Plano 2.** Línea de extrusión de cinta de caucho, vista superior.



Fuente: Croydon Colombia S.A

**Tabla 7.** Especificaciones del plano 2

Convención	Equipo	Dimensiones
1	Extrusora	2.4 metros
2	Banda transportadora	1 metro
3	Chiller	1 metro (largo)
4	Banda transportadora	4 metros
5	Área de almacenamiento	4 metros
6	Segunda línea de extrusión	7 metros

Fuente. Elaboración propia.

En este recuadro se implementará la batea para el sistema de enfriamiento. Según lo planteado en los numerales anteriores, el sistema de enfriamiento por agua es una opción técnicamente factible de realizar, pues no son muchas las adaptaciones que se requiere hacer en la planta y son mínimos los equipos que hay que adquirir.

En el próximo capítulo se evaluará financieramente la implementación del sistema, el cual si es técnicamente viable.

## 5. EVALUACIÓN DE COSTOS

En este capítulo se indaga la evaluación de costos del proyecto, con el fin de obtener toda la información pertinente acerca del costo de inversión que requiere realizar la empresa Croydon Colombia S.A para implementar el sistema de enfriamiento por agua para la cinta de caucho extruida.

El estudio financiero de este proyecto muestra información sobre el costo de inversión en un tiempo de amortización de 4 años, con el fin de estimar si en ese tiempo la compañía recupera la inversión y se disminuyen pérdidas. Esto se evaluará utilizando las metodologías financieras CAPEX (Capital Expenditure) y VPN (Valor presente Neto).

También se hizo la comparación del desperdicio actual, contra el desperdicio generado por el sistema de enfriamiento propuesto y se cuantificó monetariamente el valor de desperdicio para ambos sistemas de enfriamiento.

Para el análisis financiero se tuvo en cuenta el siguiente supuesto:

- Tasa representativa del mercado (TRM), 3087.58 COL \$/USD, del día 23 de Octubre de 2018.<sup>44</sup>
- El índice de precios al consumidor (IPC), que será tomado como 3.23%, mide la evolución del costo promedio de una canasta de bienes y servicios representativa del consumo final de los hogares, expresado en relación con un período base. La variación porcentual del IPC entre dos periodos de tiempo representa la inflación observada en dicho lapso. El cálculo del IPC para Colombia se hace mensualmente en el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).<sup>45</sup>
- La tasa interna de oportunidad (TIO) es del 16%.

### 5.1 ANÁLISIS CAPEX

El CAPEX, es el gasto que una empresa realiza en bienes de equipo y que genera beneficios para una compañía, bien sea a través de la adquisición de nuevos activos fijos o a través de un aumento en el valor a los activos fijos ya existentes<sup>46</sup>.

---

<sup>44</sup> Tasa Representativa de Mercado. [en línea]. 2018. [Citado en 23 de octubre de 2018]. Disponible en internet: <[HTTPS://WWW.DOLAR-COLOMBIA.COM/](https://www.dolar-colombia.com/)>

<sup>45</sup> Banco De La Republica. [en línea]. Ipc. 2018. [Citado en 01 de noviembre de 2018]. Disponible en internet: <<http://www.banrep.gov.co/es/ipc>>

<sup>46</sup> D. LORENZANA, ¿En qué consiste el CAPEX y porqué es una magnitud tan importante en la pyme?, [en línea] [Citado el 23 de Octubre de 2018] Disponible en internet en: <<https://www.pymesyautonomos.com/fiscalidad-y-contabilidad/en-que-consiste-el-capex-y-por-que-es-una-magnitud-tan-importante-para-la-pyme>>

La inversión a realizar se tendrá en cuenta para la maquinaria necesaria en la línea de extrusión de la cinta de caucho, debido a que el proyecto se enfoca en el enfriamiento de la cinta para disminuir el desperdicio en la línea de producción de zapato.

En la **Tabla 8** se visualiza el costo de los equipos necesarios para la modificación del sistema actual de producción de cinta de caucho.

**Tabla 8.** Equipos necesarios para la propuesta

<b>Maquinaria</b>	<b>Costo (USD)</b>	<b>Costo (COP)</b>
Chiller	\$906	\$2.800.000
Batea de acero inoxidable	\$500	\$ 1.543.790
Suavizador de agua 16" x 65"	\$380	\$ 1.173.280
<b>Inversión maquinaria (CAPEX)</b>	<b>\$1786</b>	<b>\$ 5.517.070</b>
Mano de obra de instalación	\$200	\$ 617.516
<b>Inversión total</b>	<b>\$1040</b>	<b>\$ 6.134.586</b>

**Fuente:** elaboración propia

El costo de la inversión de los nuevos activos fijos (maquinaria) se calculó en \$ 5.517.070 (COP), siendo este el valor mínimo requerido para la compra de los equipos. Adicionalmente a este valor se le suma el costo de la mano de obra de dos operarios que se requieren para la instalación y puesta en marcha de todo el sistema, trabajando medio tiempo cada uno durante 3 días, siendo esta de \$ 617.516 (COP), dando un total de inversión de \$6.134.586 para llevar a cabo el proyecto.

## **5.2 ESTIMACIÓN DE COSTOS EN EL PROCESO ACTUAL DE PRODUCCIÓN DE CINTA DE CAUCHO.**

El sistema de enfriamiento para la cinta de caucho que se utiliza actualmente en la compañía Croydon Colombia, limita el proceso de producción de esta, pues no aumenta el gradiente de temperatura necesario, por lo que no le permite mantener sus dimensiones estables, como se explicó en los capítulos anteriores.

Para la fabricación de la cinta se manejan tres costos variables, que fueron suministrados por el área de costos de la compañía, los cuales necesita la empresa para llevar a cabo el proceso de producción de la cinta de caucho. Ver **Tabla 9**.

Los costos variables, según la compañía Croydon Colombia S.A, se dividen en tres:

- **Materia Prima:** Hace relación al costo de los materiales requeridos para producir la mezcla para la cinta de caucho.
- **Mano de obra:** Hace referencia al costo del personal que se relaciona directamente con la transformación de la mezcla a la cinta (Operarios).

- **Gastos Indirectos:** Hace relación al costo del personal y servicios que se relacionan indirectamente con el proceso de transformación (Mantenimiento, sueldo de inspectores, jefe de planta, analistas, entre otros, y también relaciona el costo de los servicios industriales, tales como energía, entre otros)

**Tabla 9.** Costos variables del proceso de producción de cinta de caucho.

<b>Costos variables</b>	<b>2018</b>
Materia prima (COP /kg)	7377
Mano de obra (COP/kg)	117.71
Gastos indirectos (COP /kg)	124.4
Costo total (COP/kg)	7619.11

**Fuente:** elaboración propia

Se llevó cabo la comparación de los costos del proceso actual y la propuesta de mejora, el primero será el proceso actual, y el segundo será la propuesta del sistema de enfriamiento con agua. Estos proyectos tendrán como referencia los costos variables del año 2018. Ver **Tabla 9**.

Los costos operacionales se derivan de la suma de la mano de obra y los gastos indirectos, multiplicados por la producción en kilogramos de cinta de caucho extruida (Asumiendo que la producción del 2018 es de 55243,46 kg) como se evidencia en la **Ecuación 13**.

**Ecuación 13.** Costos operacionales del sistema actual.

$$C.O \frac{[COP]}{año} = \left( \frac{Mano\ de\ obra\ [COP]}{kg} + \frac{Gastos\ indirectos[COP]}{kg} \right) * \frac{Producción\ [kg]}{año}$$

$$C.O \frac{[COP]}{año} = \left( \frac{117.71\ [COP]}{kg} + \frac{124.40\ [COP]}{kg} \right) * \frac{55243.46\ [kg]}{año}$$

$$C.O \frac{[COP]}{año} = 13'374.994 \frac{[COP]}{año}$$

Al costo operacional de la propuesta de sistema de enfriamiento se le suma el costo del agua por año, el cual tomará como valor de referencia \$3801 COP/m<sup>3</sup>, dato suministrado por el área ambiental de la compañía. Se utilizarán 93.2 litros de agua al mes y 1118.4 litros al año, lo que equivale a \$4251 COP/año. Ver **Ecuación 14**.

**Ecuación 14.** Costos operacionales del sistema propuesto.

$$C.O \frac{[COP]}{\text{año}} = \left( \left( \frac{\text{Mano de obra [COP]}}{kg} + \frac{\text{Gastos indirectos [COP]}}{kg} \right) * \frac{\text{Producción [kg]}}{\text{año}} \right) + \frac{\text{Costo de agua [COP]}}{\text{año}}$$

$$C.O \frac{[COP]}{\text{año}} = \left( \left( \frac{117.71 [COP]}{kg} + \frac{124.40 [COP]}{kg} \right) * \frac{55243.46 [kg]}{\text{año}} \right) + \frac{4251 [COP]}{\text{año}}$$

$$C.O \frac{[COP]}{\text{año}} = 13'379.245 \frac{[COP]}{\text{año}}$$

### 5.3 COSTOS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ACTUAL Y PROPUESTO.

En este numeral se evaluaron los costos asociados al proyecto actual y a la alternativa planteada en este documento, cabe anotar que la inversión inicial que realizó la compañía en activos fijos, para enfriar la cinta de caucho, fue de \$11.500.000 COP, lo cual incluye el precio neto del Chiller, el túnel de enfriamiento por aire y la mano de obra para la instalación.

La inversión en activos fijos para el sistema de enfriamiento propuesto es de \$6.134.586 COP, como se evidencia en la **Tabla 8**.

**5.3.1 Comparación de los costos de enfriamiento actual con la propuesta.** Se compararon los costos fijos y los costos operacionales de cada propuesta. Los costos fijos son inversiones que se realizan solo una vez, como los equipos y su respectiva instalación. Los costos operacionales son los gastos relacionados a la operación de los sistemas de enfriamiento día a día. Ver **Tabla 10**.

**Tabla 10.** Costos del sistema actual y propuesto.

<b>Costos/ Proyecto</b>	<b>Actual</b>	<b>Propuesto</b>
<b>Fijos</b>	\$11.500.000	\$6.134.586
<b>Operacionales</b>	\$13.374.994	\$13.379.245
<b>Totales</b>	\$24.874.994	\$19.513.831

**Fuente:** elaboración propia

Según los costos totales del sistema actual y de la propuesta, el sistema de enfriamiento por agua requiere de una menor inversión para ponerlo en marcha, y un costo operacional muy similar al actual. Por lo tanto, implementar el sistema de enfriamiento por agua tiene mayores beneficios para la compañía, tanto económicos como operacionales, ya que cuesta menos su implementación y disminuye en una

forma más efectiva la distorsión dimensional de la cinta reduciendo así el desperdicio generado en la producción de esta.

**5.3.2 Costo del desperdicio actual.** El costo total de desperdicio se determina a partir de la **Ecuación 15**, la cual relaciona el costo de la cinta evidenciado en la **Tabla 9**, y la cantidad de cinta desperdiciada.

**Ecuación 15.** Costo total de desperdicio de cinta.

$$\text{Costo de desperdicio} = \text{Cinta desperdiciada [kg]} * \text{Costo de cinta} \left[ \frac{\text{COP}}{\text{kg}} \right]$$

El porcentaje de desperdicio de cinta se calculó con la **Ecuación 16**, utilizando la cantidad de desperdicio de cinta y la cantidad de cinta producida.

**Ecuación 16.** Porcentaje de desperdicio de cinta.

$$\% \text{ Desperdicio de cinta} = \frac{\text{Cinta desperdiciada [kg]}}{\text{Cinta producida [kg]}}$$

El desperdicio de cinta que se da en Croydon Colombia S.A varía mes a mes, respecto a la producción requerida en la planta. Para analizar el costo total del desperdicio y el porcentaje de desperdicio de cinta se utilizan los datos proporcionados por la compañía presentes en la **Tabla 11**, en los cuales se promedió la medida de un par de cintas, la cual es de 1.2 metros y se ratifica que el costo de cinta por kilogramo es de 7619.11 COP. Estos datos son del año 2018.

**Tabla 11.** Datos de producción y desperdicio de la cinta Enero - Agosto 2018.

Mes	Producción (Pares)	Producción (m)	Producción (kg)	Desperdicio (kg)
<b>Enero</b>	18577	22292,4	2552,4798	698,5
<b>Febrero</b>	53718	64461,6	7380,8532	1809,5
<b>Marzo</b>	54292	65150,4	7459,7208	1871
<b>Abril</b>	57065	68478	7840,731	2025,5
<b>Mayo</b>	56750	68100	7797,45	2124,3
<b>Junio</b>	53398	64077,6	7336,8852	1941
<b>Julio</b>	55469	66562,8	7621,4406	1925,5
<b>Agosto</b>	52794	63352,8	7253,8956	1830,5
<b>Total</b>	402063	482475,6	55243,4562	14225,8

**Fuente:** elaboración propia

De acuerdo a los datos que brinda la **Tabla 11** se puede calcular el costo total de desperdicio y el porcentaje de desperdicio de cinta mes a mes y total. Ver **Tabla 12**.

**Tabla 12.** Costo de desperdicio de cinta y su porcentaje.

Mes	Producción(kg)	Desperdicio (kg)	Costo de desperdicio	% Cinta desperdiciada
<b>Enero</b>	2552,48	698,5	\$5.321.948	27,37
<b>Febrero</b>	7380,85	1809,5	\$13.786.779	24,52
<b>Marzo</b>	7459,72	1871	\$14.255.354	25,08
<b>Abril</b>	7840,73	2025,5	\$15.432.507	25,83
<b>Mayo</b>	7797,45	2124,3	\$16.185.275	27,24
<b>Junio</b>	7336,88	1941	\$14.788.692	26,46
<b>Julio</b>	7621,44	1925,5	\$14.670.596	25,26
<b>Agosto</b>	7253,90	1830,5	\$13.946.780	25,23
<b>Total</b>	55243,46	14225,8	\$108.387.935	25,75

**Fuente:** elaboración propia – Croydon Colombia S.A.

Según los datos que arroja la **Tabla 12** con el sistema actual de enfriamiento se desperdicia en promedio el 25.86% de la producción de cinta de caucho extruida, lo que equivale a más de 100 millones de pesos y 14 toneladas de caucho en el transcurso del 2018 (Enero – Agosto).

**5.3.3 Costos del desperdicio con la propuesta.** El objetivo del proyecto es disminuir en mínimo un 75% los desperdicios generados, como se dijo anteriormente en el numeral 4.3, por lo tanto, se plantea la misma metodología utilizada en el numeral 5.4.1, utilizando los mismos datos de producción, pero con una disminución del 75% en cada dato de desperdicio de cinta como se observa en la **Tabla 13**.

**Tabla 13.** Costo de desperdicio de cinta y su porcentaje con el sistema de enfriamiento por agua.

Mes	Producción(kg)	Desperdicio (kg)	Costo de desperdicio	% Cinta desperdiciada
<b>Enero</b>	2552,48	174,625	\$1.330.487	6.84
<b>Febrero</b>	7380,85	452,375	\$3.446.694	6.13
<b>Marzo</b>	7459,72	467,75	\$3.563.838	6.27
<b>Abril</b>	7840,73	506,375	\$3.858.126	6.46
<b>Mayo</b>	7797,45	531,075	\$4.046.318	6.81

**Tabla 13. (Continuación)**

<b>Mes</b>	<b>Producción(kg)</b>	<b>Desperdicio (kg)</b>	<b>Costo de desperdicio</b>	<b>% Cinta desperdiciada</b>
<b>Junio</b>	7336,88	485,25	\$3.697.173	6.61
<b>Julio</b>	7621,44	481,375	\$3.667.649	6.32
<b>Agosto</b>	7253,90	457,625	\$3.486.695	6.31
<b>Total</b>	55243,46	3556,45	\$27.096.983	6.44

**Fuente:** elaboración propia

Según los datos de la tabla anterior, implementando el sistema de enfriamiento por agua que mantiene estables las dimensiones de la cinta, se evidencia una drástica disminución del costo del desperdicio, pasando de 108 millones, a 27 millones, ayudando a que la compañía ahorre aproximadamente 81 millones de pesos, y disminuyendo del 25.86% al 6.47% de cinta desperdiciada, lo que reduce el costo de reproceso y disposición de la misma.

#### **5.4 FLUJO DE CAJA**

Para determinar cómo se ve favorecida la producción de cinta de caucho con la implementación del sistema de enfriamiento con agua, y en qué tiempo se recuperará la inversión del mismo, se determinó el precio de venta de la cinta de caucho, de acuerdo al porcentaje que esta ocupa en el precio promedio de venta al consumidor del zapato Discovery (4.17%).

El valor de venta del par de zapatos actual será multiplicado por la demanda anual, IPC equivalente al 3.23%, para obtener la proyección del precio de venta en los 4 años siguientes.

La **Tabla 14** representa el valor de venta del par de zapatos Discovery en los próximos 4 años, y a su vez se expone el porcentaje de venta que ocupa la cinta de caucho en este precio.

**Tabla 14.** Proyección del costo por par zapatos Discovery.

<b>Año</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
Valor de par de zapatos	\$40.650	\$41.962	\$43.318	\$44.717
Valor de cinta (4.17%)	\$1.695	\$1.750	\$1.806	\$1.865

**Fuente:** elaboración propia

Para obtener el flujo de caja se utilizará como referente las ventas del zapato Discovery de enero a septiembre del 2018, las cuales ascienden a 125.306 pares, lo que equivale a \$ 5.093.626.247 COP, teniendo en cuenta que un par de zapatos en promedio cuesta \$40.650 COP.

Como se mencionó anteriormente, la cinta equivale al 4.17% del precio de venta del par de zapatos, por consiguiente, de enero a septiembre del 2018 se generaron \$ 212.404.212 COP de ingresos por parte de la cinta de caucho.

Para calcular el aumento de la demanda anual, se utilizará el valor del IPC aplicándolo en el flujo de caja.

El costo del agua y de la electricidad se verá reflejados en el flujo de caja dentro de los costos operacionales.

Para obtener el flujo de caja, se supondrá que el activo (Sistema de enfriamiento propuesto) se depreciará a 10 años, se utilizará una tasa de impuesto sobre la renta del 34% y una TIO del 16%.

En el **Cuadro 14**, se evidencia el correspondiente flujo de caja del proyecto.

El proyecto planteado logra disminuir en aproximadamente 81 millones de pesos las pérdidas que está teniendo la compañía y a su vez se logra aprovechar un 75% más del material, sin que este genere desperdicios en el proceso.

Teniendo en cuenta esto, la producción de cinta de zapato en la compañía Croydon Colombia S.A se convierte en un proceso innovador y competitivo, pues al disminuir el desperdicio generado, también se está disminuyendo el impacto ambiental y se ahorra el costo del tratamiento y disposición de desechos de caucho.

Según la información que brindan los **Cuadros 14 y 15**, se puede determinar que, bajo las condiciones y los supuestos establecidos, el proyecto es viable, pues el indicador VPN (valor presente neto) es \$377.944.797 COP, siendo este mayor a cero.

**Cuadro 14.** Flujo de caja del proyecto.

<b>Año</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Ingresos netos</b>		\$212.404.212	\$219.264.868	\$226.347.123	\$233.658.135
<b>C. Operacional</b>		-\$13.379.245	-\$13.811.395	-\$14.257.503	-\$14.718.020
<b>Depreciación</b>		-\$613.459	-\$613.459	-\$613.459	-\$613.459
<b>Utilidad Gravable</b>		\$198.411.508	\$204.840.015	\$211.476.162	\$218.326.657
<b>Impuestos (34%)</b>		-\$67.459.913	-\$69.645.605	-\$71.901.895	-\$74.231.063
<b>Utilidad Neta</b>		\$130.951.596	\$135.194.410	\$139.574.267	\$144.095.593
<b>Depreciación (+)</b>		\$613.459	\$613.459	\$613.459	\$613.459
<b>Flujo Operativo</b>		\$131.565.054	\$135.807.868	\$140.187.726	\$144.709.052
<b>Inversión</b>	-\$6.134.586				
<b>FCL</b>	<b>-\$6.134.586</b>	<b>\$131.565.054</b>	<b>\$135.807.868</b>	<b>\$140.187.726</b>	<b>\$144.709.052</b>

**Fuente:** elaboración propia

**Cuadro 15.** VPN del proyecto.

<b>VPN (16%)</b>
<b>\$377.944.797</b>

**Fuente:** elaboración propia.

## 6. CONCLUSIONES

- El sistema de enfriamiento con aire que se utiliza en la compañía no tiene la suficiente capacidad de enfriamiento, puesto que el gradiente de temperatura promedio del túnel de enfriamiento es de aproximadamente 6.6°C, y la cinta necesita disminuir su temperatura en aproximadamente 45 °C para que estabilice sus dimensiones y así evitar el desperdicio de la misma, el cual hasta agosto de 2018 asciende a más de 108 millones de pesos.
- Se realizó la evaluación de las condiciones experimentales a nivel de planta piloto con un diseño de bloques aleatorizado, mediante el cual se utilizó el tiempo de inmersión y la temperatura del agua de servicio para obtener como variable de respuesta la temperatura de estabilización de la cinta de caucho.  
En este análisis se determinó que, según los parámetros planteados, la temperatura adecuada para el sistema de enfriamiento varía entre 16°C y 18°C con un tiempo de inmersión de aproximadamente 9 segundos.
- Con los datos obtenidos en el ANOVA se analizó la interacción entre los tratamientos y bloques respecto al factor de respuesta F, y se encontró que no hay una diferencia significativamente estadística en el factor temperatura del agua de servicio, pues los rangos de temperatura utilizados en la experimentación son cercanos, su diferencia es de 2°C.  
Por otra parte, los datos que arrojó el factor tiempo de inmersión, si tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la distorsión dimensional de la cinta de caucho.
- En las especificaciones técnicas se establecieron una serie de equipos necesarios para reducir en un 75% el desperdicio de cinta de caucho los cuales son: Batea de acero inoxidable, Chiller de enfriamiento y un Suavizador de agua 16" x 65". Posteriormente se estableció la ubicación pertinente de los equipos en la línea de extrusión.
- En la evaluación de costos se obtuvo el valor de inversión de los equipos necesarios para la implementación del sistema de enfriamiento de acuerdo al análisis CAPEX realizado. Se obtuvo el ahorro que puede tener la compañía con la implementación del sistema propuesto, el cual es de 81 millones con un porcentaje de reducción de desperdicio que va del 25.86% al 6.47%.  
Adicional a esto, el indicador financiero VPN es positivo, siendo este \$377.944.797 COP, justificando que la inversión realizada se va a recuperar y que el proyecto es financieramente viable.

- Se desarrolló una propuesta de un sistema de enfriamiento por agua para la cinta de caucho extruida, donde se realizó una inversión de aproximadamente 14 millones de pesos y se logró aumentar el gradiente de temperatura del proceso de enfriamiento de la cinta, pasando de 6°C a aproximadamente 45°C, el cual se reflejó en la disminución de pérdidas de caucho causadas por la distorsión dimensional, las cuales ascendían a más de 108 millones de pesos y 14225 kg y se lograron disminuir a 27 millones y 3556 kg.

## 7. RECOMENDACIONES

- Debido a que no se puede modificar la formulación de la cinta de caucho, se recomienda investigar la influencia, en la distorsión dimensional, de cada componente de la mezcla de caucho con el propósito de indagar que tanto afecta o no cada sustancia en las propiedades de la cinta.
- La extrusora de la compañía no tiene la instrumentación adecuada para realizar un control preciso en las variables durante la extrusión, por lo que se recomienda proponer un sistema más preciso y con una mayor cantidad de sensores para que el proceso tenga un mejor control de calidad.
- Para darle una mayor continuidad al proceso, se recomienda cambiar el sistema de corte manual, por un sistema de enrollado, el cual permita guardar la cinta en carretes a fin de utilizar la cantidad precisa de esta en el proceso productivo, evitando cortar cinta de más, adicional a esto, se mitigan las repercusiones a la salud del personal que realiza esta labor de corte, evitando enfermedades como el túnel del Carpio.
- Con el sistema de enfriamiento propuesto, la cinta sale con trazas de agua en su superficie, por lo que se recomienda diseñar un mecanismo de secado que permita retirar la mayor cantidad de agua de la superficie de la cinta.
- Si se decide realizar el proyecto, se recomienda hacerle un seguimiento y caracterización al agua de servicio (Almacenada en la batea), monitoreando así parámetros como el pH, dureza, agentes microbianos, entre otros que puedan afectar el rendimiento del proceso.

## BIBLIOGRAFÍA

Aislamiento y Estanquidad Erica, S.L., Capacidad Calorífica, Barcelona, [Online] Disponible en: <http://www.eric.es/web/aislamiento-termico/>

Análisis de cadenas productivas, Generalidades de la cadena Petroquímica-Caucho, Departamento Nacional de Planeación, Disponible en: <https://www.dnp.gov.co/programas/desarrollo-empresarial/paginas/analisis-cadenas-productivas.aspx>

Banco De La Republica. [EN LINEA]. Ipc. 2018. [Citado en 01 de noviembre de 2018]. Disponible en internet: <http://www.banrep.gov.co/es/ipc>

Carbotecnia, S. d. (11 de octubre de 2018). *Carbotecnia*. Obtenido de <https://www.carbotecnia.info/>

D. LORENZANA, ¿En qué consiste el CAPEX y porqué es una magnitud tan importante en la pyme?, consultado en: <https://www.pymesyautonomos.com/fiscalidad-y-contabilidad/en-que-consiste-el-capex-y-por-que-es-una-magnitud-tan-importante-para-la-pyme> [23-10-2018]

Descripcion de la unidad de extrusion , diseño del cabezal de extrusion y cortador del parison. (s.f.). En *capítulo 3* (págs. 36-37).

Fabio G Nuñez, El sitio Avícola, Sistema de enfriamiento en agua y en aire: Ventajas y desventajas. 20 de Junio de 2016, [en línea] Consultado el 13/11/2018, Disponible en: <http://www.elsitioavicola.com/articulos/2885/sistemas-de-enfriamiento-en-agua-y-en-aire-ventajas-y-desventajas/>

Food Processing Technology - Principles and Practice (3rd Edition) © 2009 Woodhead Publishing, Table 10.1 Specific Heat of Selected Foods and Other Materials [Online], Disponible en internet en: <https://app.knovel.com/>

Funcionamiento y tipos de cronómetros. [Online], Disponible en: [http://www.cenam.mx/eventos/enme/docs/38%20Funcionamiento%20y%20Tipos%20de%20cronometros%20\[Modo%20de%20compatibilidad\].pdf](http://www.cenam.mx/eventos/enme/docs/38%20Funcionamiento%20y%20Tipos%20de%20cronometros%20[Modo%20de%20compatibilidad].pdf)

García Leal, J. & Lara Porras, A.M. (1998). "Diseño Estadístico de Experimentos. Análisis de la Varianza." Grupo Editorial Universitario. Capítulo 5.p2  
Gómez Gómez, J. J., & Gutiérrez Bedoya, J. E. (Noviembre de 2007). Diseño de una extrusora para plasticos. Pereira-Risaralda.

Hernande Caballero , o., Lopez Zuñiga, R., & Romo Gutierrez, M. (30 de septiembre de 2011). programa para arranque y paro de un sistema chiller . *Ingeniería en*

*comunicaciones y electronica , ingenieria mecanica . Mexico DF.*

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.:El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153p.

J. OTERO, A. HERRARTE, ANÁLISIS DE LA VARIANZA, 2005, CONSULTADO EL [23-10-2018], DISPONIBLE EN: [https://www.uam.es/personal\\_pdi/economicas/eva/pdf/anova.pdf](https://www.uam.es/personal_pdi/economicas/eva/pdf/anova.pdf)

L. CASTRO, E PLAZAS, Desarrollo de una propuesta de mejora en el proceso de recuperación de material no conforme en la producción de botas PVC para la empresa Croydon Colombia, Universidad de América, Bogotá, 2017. P. 29

L.LÓPEZ, M, POVEDA; Diseño e implementación de un Sistema de agua de enfriamiento para la línea de extrusión de caucho Triplex de la compañía continental Tire andina S.A, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, 2015, Pág 28.

M. BELTRÁN, A. MARCILLA, Tecnología de polímeros Procesado y propiedades, Tema 4. Extrusión, Universidad de Alicante, 2012, p 102.

Minitab. ¿Qué es una prueba de hipótesis? [Consultado el 19 de septiembre del 2018]. Disponible en: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/basics/what-is-a-hypothesis-test/>

Minitab. ¿Qué valor debo usar para el nivel de significancia? [Consultado el 18 de septiembre del 2018]. Disponible en: <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/introductoryconcepts/p-value-and-significance-level/significance-level/>

Normas de almacenamiento de elastómeros según la norma DIN 7716, Disponible en:

[https://www.ttv GmbH.de/fileadmin/user\\_upload/Dichtungen/Technische\\_Infos/Informacion-tecnica\\_Vorschriften\\_Lagerung.pdf](https://www.ttv GmbH.de/fileadmin/user_upload/Dichtungen/Technische_Infos/Informacion-tecnica_Vorschriften_Lagerung.pdf), 2013.

Pirómetro de radiación, [Online] Disponible en: <http://www.memtec.es/tipos-de-pirometro-para-que-sirven/>

Planificación de un experimento, disponible en: [http://dm.udc.es/asignaturas/estadistica2/sec2\\_3.html](http://dm.udc.es/asignaturas/estadistica2/sec2_3.html) [Consultado el 18 de Octubre de 2018].

Principles of Heating, Ventilating and Air conditioning (8th Edition) © 2017 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Table 2-3.

Properties Of gases. [Online] Disponible en:  
[https://app.knovel.com/web/view/itable/show.v/rcid:kpPHVACE01/cid:kt00XRF972/viewerType:itable//root\\_slug:table-2-3-properties-of-gases/url\\_slug:table-2-3-properties?q=air%20heat%20capacity&b-q=air%20heat%20capacity&sort\\_on=default&b-group-by=true&b-sort-on=default&b-content-type=all\\_references&start=0&columns=1,2,3,4,5,6,7,8,9](https://app.knovel.com/web/view/itable/show.v/rcid:kpPHVACE01/cid:kt00XRF972/viewerType:itable//root_slug:table-2-3-properties-of-gases/url_slug:table-2-3-properties?q=air%20heat%20capacity&b-q=air%20heat%20capacity&sort_on=default&b-group-by=true&b-sort-on=default&b-content-type=all_references&start=0&columns=1,2,3,4,5,6,7,8,9)

Química, F. d. (s.f.). *Caucho natural y sintético*. Obtenido de Pontificia universidad católica de Chile: <http://quimica.uc.cl/images/paginas/fcauchonaturalsintetico.pdf>

Quiminet. Sistemas de enfriamiento del agua [en línea] Consultado el 13/11/2018. Disponible en <https://www.quiminet.com/articulos/sistemas-de-enfriamiento-del-agua-2560810.htm>

Sensor de temperatura de agua (DS18B20) [Online] Disponible en: <http://tdrobotica.co/sensor-de-temperatura-de-agua-ds18b20/152.html>

Strukol Company Of America, Rubber handbook, USA, Sept 2004 p. 35

Tasa Representativa de Mercado. [EN LINEA]. 2018. [Citado en 23 de octubre de 2018]. Disponible en internet: <HTTPS://WWW.DOLAR-COLOMBIA.COM/>

Trujillo V Diego Alejandro, Unidad de planeación Minero Energética, Principio de refrigeración, [en línea], disponible en: <http://www.si3ea.gov.co/eure/6/inicio.html> [Consultado el 02/04/2018]

# **ANEXOS**

# ANEXO A CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL PIE DE REY



Equipos y Controles Industriales S.A.  
Laboratorio de Metrología



## Certificado de Calibración LML-1193-17

Pag. 1 de 2

Cliente	: CROYDON COLOMBIA S.A.		
Dirección	: Carrera 61 No. 46 - 37 Sur		
Ciudad	: Bogotá D.C.		
Número de Muestra	: MU-17/01513	Instrumento	: Pie de Rey Digital
Modelo	: 500-196-30B	Fabricante	: Mitutoyo
Número de Serie	: 17912505	Código Cliente	: No Especificado
Intervalo de Medición	: { 0 a 150 } mm	División de Escala	: 0,01 mm
Fecha de Recepción	: 2017-11-09		
Fecha de Calibración	: 2017-11-21		
Fecha de Emisión	: 2017-11-22		

### PATRÓN DE REFERENCIA

Bloques Patrón Ref: 516-995-60 N/S 0306172, Certificado N° I-LML-0212-17 DE 2017-06-09  
Caliper Checker Ref: 515-555 N/S 700223, Certificado N° 03418/16 DE 2016-05-05

### MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración del pie de rey se realizó por comparación directa contra bloques patrón rectangulares. Norma de referencia JIS-B 7507:1993.

### NOTAS:

Los resultados se relacionan con el instrumento mencionado en las condiciones recibidas por el laboratorio.  
La próxima calibración sera de acuerdo con el programa establecido por el usuario.  
Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales e internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

### FIRMAS AUTORIZADAS



Calibrado por:

Fabián Escobar B

Revisado por:

Diana Lorena Rodríguez Quintero

LM-F-05-10 V2

Este certificado de calibración no deberá ser reproducido total o parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio de metrología de EQUIPOS Y CONTROLES INDUSTRIALES S.A. El certificado de calibración sin firma no es válido.

Nit. 860.055.583-9

Calle 23 No. 116-31 Centro de Distribución y Servicios CDS - Bg. 32 - 33 Parque Industrial Puerto Central  
Tel: (57-1) 327 5151 - 745 7474 - metrologia@eci.com.co - www.eci.co - Bogotá D.C.



Certificado de Calibración  
LML-1193-17

Pag. 2 de 2

RESULTADOS DE MEDICIÓN

CONDICIONES AMBIENTALES			ERROR DE ABBE		
Lugar de Calibración:	Mínima	Máxima		Nominal (mm)	1,01
Laboratorio de Equipos y Controles Industriales				A:	1,01
Temperatura °C	19,9	20,1		B:	1,01
Humedad Relativa %	57,2	58,5		Diferencia:	0

PUNTAS DE EXTERIORES		PUNTAS DE INTERIORES	
Nominal (mm)	Error (µm)	Nominal (mm)	Error (µm)
0	0	0	0
10	0	10	0
20	0	20	10
50	0	50	10
100	10	100	10
150	10	150	10

La incertidumbre de medición expandida estimada es  $U = \pm 5,9 \mu\text{m}$  con un factor de cobertura  $k= 2,0$  equivalente a un nivel de confianza de los resultados del 95,45%

OBSERVACIONES  
Ninguna.

••Fin de Certificado••

LM-F-05-10 V2

Este certificado de calibración no deberá ser reproducido total o parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio de metrología de EQUIPOS Y CONTROLES INDUSTRIALES S.A. El certificado de calibración sin firma no es válido.

Nit. 860.055.583-9

Calle 23 No. 116-31 Centro de Distribución y Servicios CDS - Bg. 32 - 33 Parque Industrial Puerto Central  
Tel: (57-1) 327 5151 - 745 7474 - metrologia@eci.com.co - www.eci.co - Bogotá D.C.

**ANEXO B  
TABLAS**

**Tabla 15.** Datos experimentales para determinar la temperatura a la cual se estabilizan las dimensiones del ancho de la cinta caucho para la muestra 1.

**Muestra 1 (12 cm)**

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Dimensiones del ancho (mm)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
0,000	0	33,25	63,8
0,333	20	33,1	58,6
0,667	40	33,07	53,8
1,000	60	33,12	50,2
1,333	80	33,07	48,2
1,667	100	33,07	46,2
2,000	120	32,95	44,8
2,333	140	33,04	43,4
2,667	160	33,05	41,1
3,000	180	32,84	40,2
3,333	200	32,92	39,8
3,667	220	32,85	38,6
4,000	240	32,8	38,4
4,333	260	32,79	37,2
4,667	280	32,89	34,2
5,000	300	32,86	34
5,333	320	32,84	33,2
5,667	340	32,89	33,4
6,000	360	32,91	32,8
6,333	380	32,81	32,4
6,667	400	32,86	31,8
7,000	420	32,79	30,2
7,333	440	32,86	30
7,667	460	32,82	29,8
8,000	480	32,85	28,6
8,333	500	32,81	27,9

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 16.** Datos experimentales para determinar la temperatura a la cual se estabilizan las dimensiones del ancho de la cinta caucho para la muestra 2.

**Muestra 2 (15 cm)**

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Dimensiones del ancho (mm)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
0,000	0	33,45	78,4
0,333	20	33,3	68
0,667	40	33,61	62,2
1,000	60	33,21	51,4
1,333	80	33,21	50,6
1,667	100	33,31	49,8
2,000	120	33,37	47,8
2,333	140	33,21	45,4
2,667	160	33,1	42,6
3,000	180	33,21	41,1
3,333	200	33,09	39,4
3,667	220	32,85	38
4,000	240	33,04	36,8
4,333	260	33,13	35,6
4,667	280	32,99	36,6
5,000	300	33,19	34,4
5,333	320	33,22	30,2
5,667	340	33,19	29,2
6,000	360	33,15	29
6,333	380	33,13	28,2
6,667	400	33,22	28,4
7,000	420	33,25	27,8
7,333	440	33,2	27,6
7,667	460	33,13	26,6
8,000	480	33,24	26,4
8,333	500	33,2	26,2

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 17.**Datos experimentales para determinar la temperatura a la cual se estabilizan las dimensiones del ancho de la cinta caucho para la muestra 3.

**Muestra 3 (30cm)**

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Dimensiones del ancho (mm)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
0,000	0	31,0	76,6
0,333	20	31,1	70,6
0,667	40	31,02	65
1,000	60	30,95	59,2
1,333	80	30,63	52,2
1,667	100	30,89	48,8
2,000	120	30,1	45,2
2,333	140	30,0	42,6
2,667	160	29,7	40,4
3,000	180	30,31	39,8
3,333	200	30,39	38,4
3,667	220	30,37	37,8
4,000	240	30,43	35,6
4,333	260	30,29	34,4
4,667	280	30,08	33,2
5,000	300	29,99	31,6
5,333	320	29,87	31,4
5,667	340	29,9	30
6,000	360	30,17	29,8
6,333	380	30,02	29,2
6,667	400	29,98	28,8
7,000	420	30,13	28
7,333	440	30,15	27,4
7,667	460	29,95	26,6
8,000	480	30,0	26,4
8,333	500	30,1	25,6

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 18.** Diferencia entre la medición inicial y final.

<b>Ensayo</b>	<b>D inicial [mm]</b>	<b>D final [mm]</b>	<b>Resta Dimensiones</b>
0	0	0	0
1	32,58	32,39	0,19
2	32,49	32,4	0,09
3	33,36	33,48	-0,12
4	32,42	32,6	-0,18
5	31,66	32,34	-0,68
6	32,34	32,27	0,07
7	32,85	32,62	0,23
8	31,44	31,73	-0,29
9	32,44	32,86	-0,42
10	30,87	31,07	-0,2
11	31,75	32,04	-0,29
12	32,16	32,68	-0,52
13	32,86	32,75	0,11
14	32,02	31,58	0,44
15	31,74	31,62	0,12
16	33,01	32,83	0,18
17	32,12	32,45	-0,33
18	32,54	32,05	0,49

**Fuente:** elaboración propia

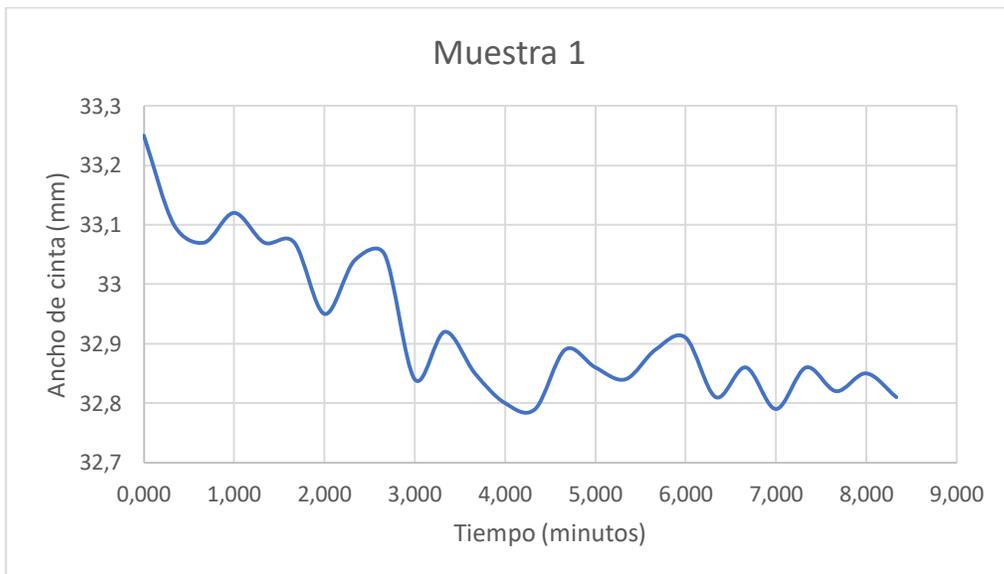
## ANEXO C GRÁFICAS DE DISTORSIÓN DIMENSIONAL

**Gráfica 4.** Comportamiento de la temperatura de la cinta respecto al tiempo de enfriamiento.



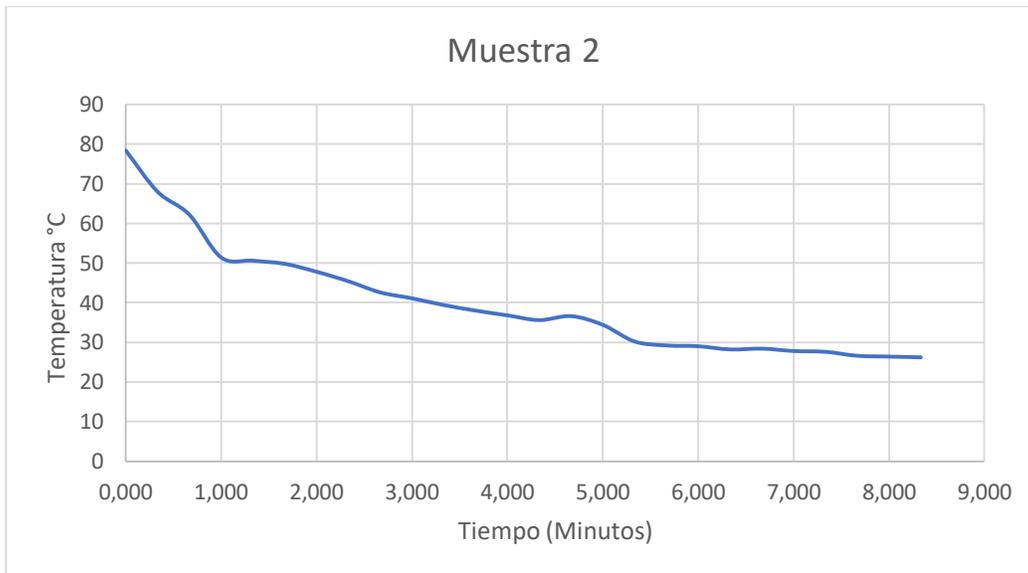
**Fuente:** elaboración propia

**Gráfica 5.** Comportamiento de las dimensiones de la cinta respecto al tiempo de enfriamiento.



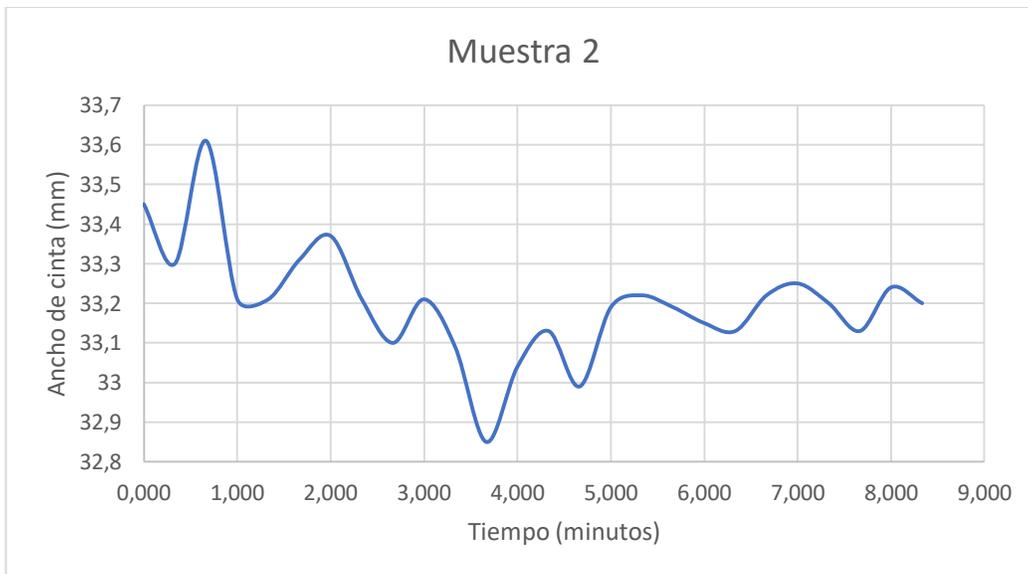
**Fuente:** elaboración propia

**Gráfica 6.** Comportamiento de la temperatura de la cinta respecto al tiempo de enfriamiento.



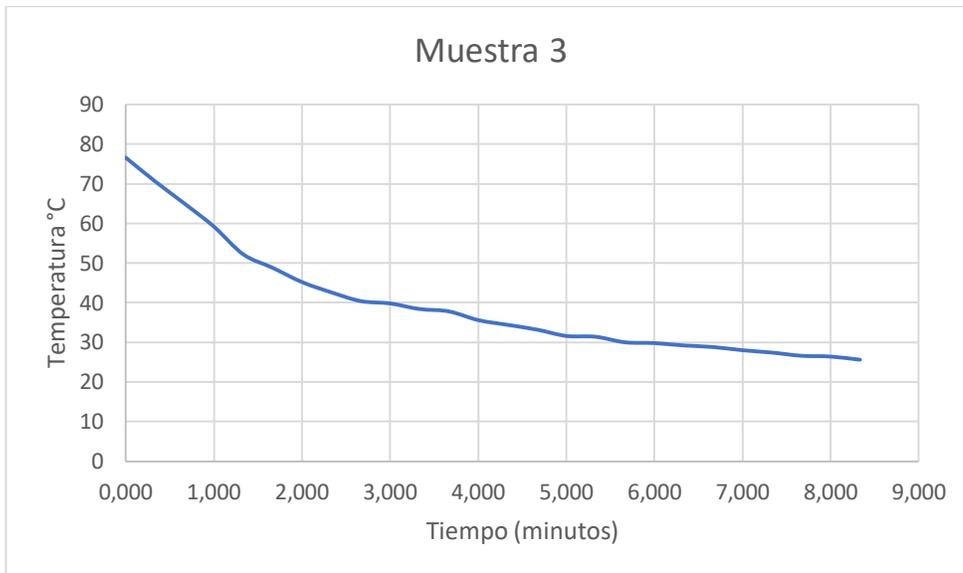
**Fuente:** elaboración propia

**Gráfica 7.** Comportamiento de las dimensiones de la cinta respecto al tiempo de enfriamiento.



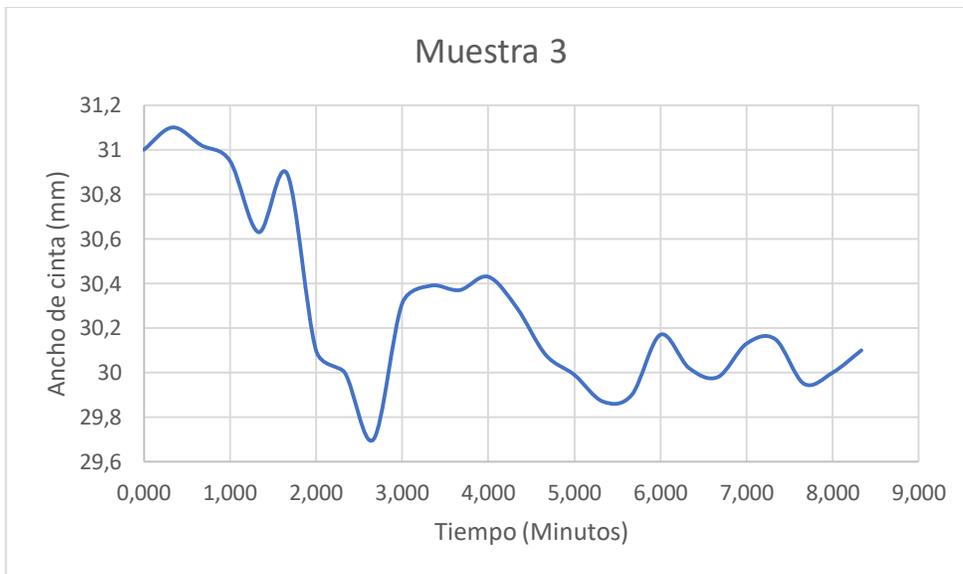
**Fuente:** elaboración propia

**Gráfica 8.** Comportamiento de la temperatura de la cinta respecto al tiempo de enfriamiento.



**Fuente:** elaboración propia

**Gráfica 9.** Comportamiento de las dimensiones de la cinta respecto al tiempo de enfriamiento.



**Fuente:** elaboración propia