

**Master Saving Plan. Formulación del plan de acción de reducción de costos de no calidad  
por roturas de hilos de cobre en el proceso de trefilado**

**Caso de estudio: Nexans Colombia**

Gustavo Adolfo Silva Castro

Asesor

Freddy Alonso Herrera Rojas

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnologías e Ingenierías ECTBI

Ingeniería Industrial

2025

## Resumen

La fabricación de conductores eléctricos y de telecomunicaciones se ha convertido en los últimos tiempos en un factor clave en el desarrollo energético de un país, desde el origen de la electricidad en la antigüedad hasta su descubrimiento atribuido a Thomas Edison, el hombre ha buscado la forma de poder electrificar el futuro y conectar a todo el mundo ofreciendo soluciones que satisfagan la generación de energía, la transmisión, la distribución y usos eficientes de la misma. Actualmente el mercado de conductores eléctricos presenta un panorama muy favorable no solo para el mercado nacional sino también en el ámbito internacional.

Nexans Colombia planta Bucaramanga, es una empresa que se dedica a la fabricación, distribución y comercialización de conductores eléctricos y soluciones de cableado. El presente estudio de investigación tiene como finalidad Identificar y analizar las diferentes causas que generan paradas no programadas por roturas de hilos en la fabricación de los conductores eléctricos en el proceso de trefilación con el fin de crear, implementar y desarrollar planes de acción Preventivos que permitan controlar y estandarizar parte del proceso de trefilado garantizando un funcionamiento más continuo de las maquinas trefiladoras y con ello reducir los tiempos muertos, minimizar el número de paradas y reducir los costos de la no calidad en esta área generados por las paradas no programadas causadas por las roturas de hilos en dicho proceso, mediante la Implementación de la toma y seguimiento de datos y muestras de las principales variables que influyen en el proceso como lo es el seguimiento de la emulsión y el control de roturas de hilos permitiendo la optimización y un eficiente control de dichas variables que conlleve a prolongar la vida útil de las trefiladoras y sus herramientas, mejorando la eficiencia general de operación del proceso en un incremento del OEE del área, aumentando la calidad de los productos y mitigando los costos de la no calidad, contribuyendo de esta forma al

aumento del margen comercial contributivo a largo plazo consolidando una compañía viable y sostenible en el futuro.

*Palabras Clave:* Conductores eléctricos, costos de no calidad, roturas, alambres de cobre, trefilado, emulsión.

## **Abstract**

The manufacture of electrical conductors and telecommunications has recently become a key factor in the energy development of a country, from the origin of electricity in antiquity to its discovery attributed to Thomas Edison, Man has been looking for ways to electrify the future and connect everyone by offering solutions that satisfy energy generation, transmission, distribution and efficient uses. Currently the electric conductor market presents a very favorable outlook not only for the national market but also in the international arena.

Nexans Colombia plant Bucaramanga is a company engaged in the manufacture, distribution and marketing of electrical conductors and cabling solutions; The present research study aims to identify and analyze the different causes that generate unplanned stops due to wire breaks in the manufacture of electrical conductors in the wire drawing process in order to create implement and develop preventive action plans that allow to control and standardize part of the wire drawing process ensuring a more continuous operation of the wire drawing machines and that allow to reduce the dead times, minimize the number of stops and reduce the costs of non-quality in this area generated by unscheduled stops caused by thread breaks in this process, by implementing the collection and monitoring of data and samples of the main variables that influence the process such as emulsion tracking and control of thread breaks allowing optimization and efficient control of these variables leads to the longer service life of the drawing machines and their tools, improving the overall process operating efficiency in an increase of area OEE, Increasing product quality and mitigating non-quality costs, thus contributing to the long-term contribution margin, consolidating a viable and sustainable company in the future.

**Keywords:** Electrical conductors, non-quality costs, ruptures, copper wires, wire drawing, emulsion.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	15
Planteamiento del problema.....	17
Justificación .....	19
Objetivos .....	21
Objetivo general .....	21
Objetivos específicos .....	21
Marco teórico .....	22
Marco referencial .....	22
Marco conceptual .....	24
Marco contextual de la empresa Nexans Colombia, planta Bucaramanga .....	27
Descripción general de la empresa .....	27
Historia. ....	27
Componente estratégico de la empresa .....	28
Misión. ....	29
Visión.....	29
Política integral.....	29
Estructura organizacional .....	30
Análisis externo de la empresa .....	31
Proceso de trefilado Nexans Colombia - planta Bucaramanga .....	34
Caracterización y ficha técnica maquinas trefiladoras de cobre en Nexans Colombia.....	38
Línea de desbaste primaria para cobre (mono hilo), TRE001 (TECALSA) .....	39
Línea de trefilado fino para cobre (16 hilos), TRE006 (NIEHOFF).....	41

Línea de trefilado intermedio para cobre (8 hilos) NIEHOFF (TRE007) .....	43
Metodología .....	45
Fase 1. Diagnóstico de la situación actual en el área de trefilado en la empresa Nexans	
Colombia.....	48
Otros hallazgos de cuidado .....	60
Datos o hileras de trefilación .....	60
Cabrestantes o anillos de trefilación.....	63
Fase 2. Toma, registro y control de datos de las principales variables de estudio que inciden en las paradas no programadas por roturas de hilos de cobre en el área de trefilado .....	
Muestreo y recolección de datos de roturas de hilos de cobre en el área de trefilado .....	65
Muestreo y recolección de datos de la emulsión en el área de trefilado .....	75
Registro grafico de concentración graso de la emulsión en el área de trefilado .....	79
Registro grafico de la temperatura de la emulsión en el área de trefilado .....	84
Fase 3. análisis, generación y evaluación de estrategias planteadas enfocadas a la reducción de costos de la no calidad por roturas de hilos de cobre en el proceso de trefilado .....	
Herramientas de análisis de datos .....	87
Diagrama de Pareto .....	87
Diagrama de Ishikawa .....	89
Estratificación.....	92
Metodología SQDCE.....	94
Fallo de roturas por problemas de materia prima.....	100
Lubricación máquinas trefiladoras .....	102
Implementación de cronogramas de limpieza en el área de trefilado .....	108

Registro y medición de tanques primarios de emulsión.....	112
Análisis y control de roturas de hilos de cobre en el área de trefilado .....	113
Clasificación por tipos de fallos por roturas o fracturas en hilos de cobre .....	118
Roturas por extremos fundidos.....	118
Roturas por soldadura.....	119
Roturas por tensión.....	120
Roturas por torsión .....	121
Rotura por estallido central - copa y cono.....	122
Roturas por inclusiones presentes .....	123
Roturas por inclusiones ausentes.....	124
Roturas por problemas de laminado en caliente (astillas y costuras).....	125
Roturas por macro porosidades .....	126
Roturas por hilo de cobre maltratado .....	127
Costos de la no calidad en el área de trefilado por fallos de rotura en hilos de cobre .....	127
Ineficiencia en los siguientes procesos productivos a causa de las roturas de hilos de cobre en el proceso de trefilado .....	132
Datos finales.....	135
Fase 4. Formulación del plan de acción de reducción de costos de no calidad por roturas de hilos de cobre en el proceso de trefilado.....	139
Conclusiones .....	145
Recomendaciones .....	147
Referencias Bibliográficas .....	150
Apéndices.....	155

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b>	<i>Top 10 – Facturación de conductores eléctricos por familias 2023 - planta Bucaramanga</i> .....	33
<b>Tabla 2</b>	<i>Facturación de conductores eléctricos 2024. (Ventas en toneladas)</i> .....	34
<b>Tabla 3</b>	<i>Maquinas trefiladoras Nexans Colombia</i> .....	38
<b>Tabla 4</b>	<i>Caracterización del proceso de trefilado de la TRE001</i> .....	39
<b>Tabla 5</b>	<i>Ficha técnica TRE001</i> .....	40
<b>Tabla 6</b>	<i>Caracterización del proceso de trefilado fino de la TRE006</i> .....	41
<b>Tabla 7</b>	<i>Ficha técnica trefiladora de finos. TRE006</i> .....	42
<b>Tabla 8</b>	<i>Caracterización del proceso de trefilado intermedio (8 Hilos). NIEHOFF (TRE007)</i> .....	43
<b>Tabla 9</b>	<i>Ficha técnica trefiladora intermedios. TRE007</i> .....	44
<b>Tabla 10</b>	<i>Estandarización de procesos en el área de trefilado</i> .....	51
<b>Tabla 11</b>	<i>Roturas de hilos de cobre – Área de trefilado febrero de 2024</i> .....	66
<b>Tabla 12</b>	<i>Roturas de hilos de cobre – Área de trefilado marzo de 2024</i> .....	67
<b>Tabla 13</b>	<i>Roturas de hilos de cobre – Área de trefilado abril de 2024</i> .....	68
<b>Tabla 14</b>	<i>Roturas de hilos de cobre – Área de trefilado mayo de 2024</i> .....	69
<b>Tabla 15</b>	<i>Roturas de hilos de cobre – Área de trefilado junio de 2024</i> .....	70
<b>Tabla 16</b>	<i>Roturas de hilos de cobre – Área de trefilado julio de 2024</i> .....	71
<b>Tabla 17</b>	<i>Roturas de hilos de cobre – Área de trefilado, septiembre de 2024</i> .....	73
<b>Tabla 18</b>	<i>Roturas de hilos de cobre – Área de trefilado, octubre de 2024</i> .....	74
<b>Tabla 19</b>	<i>Parámetros de trabajo de lubricantes en el área de trefilado</i> .....	76
<b>Tabla 20</b>	<i>Total de Roturas de hilos de cobre en el área de trefilado – 2024</i> .....	87
<b>Tabla 21</b>	<i>Planes de acción según diagrama de Ishikawa</i> .....	91
<b>Tabla 22</b>	<i>Diagrama de estratificación</i> .....	93
<b>Tabla 23</b>	<i>Registro de señales formato SQDCE área de trefilado</i> .....	96

<b>Tabla 24</b> <i>Registro de señales SQDCE Main Room</i> .....	98
<b>Tabla 25</b> <i>Plan de acción en SQDCE Main Room</i> .....	98
<b>Tabla 26</b> <i>Datos técnicos del alambión de cobre</i> .....	101
<b>Tabla 27</b> <i>Medidas de capacidad y nivel de emulsión en tanques primarios área de trefilado</i> .....	113
<b>Tabla 28</b> <i>Costos de no calidad en la TRE001</i> .....	129
<b>Tabla 29</b> <i>Costos de no calidad en la TRE006</i> .....	130
<b>Tabla 30</b> <i>Costos de no calidad en la TRE007</i> .....	131
<b>Tabla 31</b> <i>Paradas no programadas en el área de buncheado por roturas de hilos en el proceso de trefilado</i> .....	134
<b>Tabla 32</b> <i>Cálculo de Toneladas trefiladas de cobre por Rotura de hilos de cobre</i> .....	136
<b>Tabla 33</b> <i>Proyección de roturas por tonelada de cobre trefilado</i> .....	137
<b>Tabla 34</b> <i>Cronograma de limpieza de tanques área de trefilado</i> .....	148

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b>	<i>Diagrama organizacional Nexans Colombia</i> .....	30
<b>Figura 2</b>	<i>Top 3 empresas fabricantes de conductores eléctricos nacionales 2022</i> .....	32
<b>Figura 3</b>	<i>Proceso de desbaste en una trefiladora de cobre</i> .....	35
<b>Figura 4</b>	<i>Estándar de procesos de operación – área de trefilado</i> .....	36
<b>Figura 5</b>	<i>Tipos de conductores según su construcción</i> .....	37
<b>Figura 6</b>	<i>Línea de desbaste primaria para cobre (mono hilo). Trefiladora TECALSA</i> .....	39
<b>Figura 7</b>	<i>Línea de trefilado fino para cobre (16 hilos). Trefiladora NIEHOFF</i> .....	41
<b>Figura 8</b>	<i>Línea de trefilado intermedio para cobre (8 hilos). Trefiladora NIEHOFF</i> .....	43
<b>Figura 9</b>	<i>Sedimentación de polvillo de cobre en desbastadora trefiladora primaria</i> .....	52
<b>Figura 10</b>	<i>Medición de niveles de emulsión en los tanques primarios de las trefiladoras de cobre</i> .....	54
<b>Figura 11</b>	<i>Accionamiento manual de los filtros Resy en TRE001 Y TRE006</i> .....	55
<b>Figura 12</b>	<i>Problemas en la materia prima por hilos enredados y tramos duros</i> .....	57
<b>Figura 13</b>	<i>Defectos de calidad en oxidación superficial de materias primas</i> .....	58
<b>Figura 14</b>	<i>Ranura por desgaste de cintas recoedoras, horno de recocido TRE006 y TRE001</i> .....	59
<b>Figura 15</b>	<i>Estado de dados e hileras de trefilar después de su uso en el proceso de trefilado</i> .....	60
<b>Figura 16</b>	<i>Hileras de trefilación</i> .....	61
<b>Figura 17</b>	<i>Residuos de finos en dados o hileras de trefilación</i> .....	62
<b>Figura 18</b>	<i>Fallas presentadas en los cabrestantes de trefilación</i> .....	64
<b>Figura 19</b>	<i>Formato de recolección de datos y muestras de roturas de hilos de cobre</i> .....	65
<b>Figura 20</b>	<i>Formato de control y registro de parámetro de la emulsión</i> .....	78
<b>Figura 21</b>	<i>Registro base de datos de control de la emulsión</i> .....	79
<b>Figura 22</b>	<i>Grafica concentración graso emulsión TRE001</i> .....	80
<b>Figura 23</b>	<i>Concentración graso TRE001</i> .....	81

<b>Figura 24</b> <i>Grafica concentración graso emulsión TRE006</i> .....	81
<b>Figura 25</b> <i>Concentración graso TRE006</i> .....	82
<b>Figura 26</b> <i>Grafica concentración graso emulsión TRE007</i> .....	83
<b>Figura 27</b> <i>Concentración graso TRE007</i> .....	84
<b>Figura 28</b> <i>Diagrama de control de temperaturas de la emulsión en el área de trefilado</i> .....	86
<b>Figura 29</b> <i>Diagrama de Pareto</i> .....	88
<b>Figura 30</b> <i>Diagrama de Ishikawa: Roturas de hilos de cobre</i> .....	90
<b>Figura 31</b> <i>SQDCE área de trefilado</i> .....	95
<b>Figura 32</b> <i>SQDCE Main Room</i> .....	97
<b>Figura 33</b> <i>Alambrón de cobre</i> .....	101
<b>Figura 34</b> <i>Residuo de polvillo de cobre en ductos de lubricación TRE001</i> .....	103
<b>Figura 35</b> <i>Sistemas de lubricación</i> .....	104
<b>Figura 36</b> <i>Estandarización de actividades, tomas de muestras de emulsión área de trefilado</i> .....	105
<b>Figura 37</b> <i>Formato de limpieza tanques de emulsión área de trefilado</i> .....	110
<b>Figura 38</b> <i>Medidas tanques primarios</i> .....	112
<b>Figura 39</b> <i>Estandarización de actividades registro y control de muestras de roturas área de trefilado</i> .....	114
<b>Figura 40</b> <i>Base de datos control de roturas de hilos de cobre</i> .....	117
<b>Figura 41</b> <i>Rotura por extremos fundidos</i> .....	119
<b>Figura 42</b> <i>Roturas por soldaduras</i> .....	120
<b>Figura 43</b> <i>Roturas por tensión</i> .....	121
<b>Figura 44</b> <i>Roturas por torsión</i> .....	122
<b>Figura 45</b> <i>Rotura por estallido central - copa y cono</i> .....	123
<b>Figura 46</b> <i>Roturas por inclusiones presentes</i> .....	124
<b>Figura 47</b> <i>Roturas por inclusiones ausentes</i> .....	124

<b>Figura 48</b> <i>Roturas por problemas de laminado en caliente (astillas y costuras)</i> .....	125
<b>Figura 49</b> <i>Roturas por macro porosidades</i> .....	126
<b>Figura 50</b> <i>Roturas por hilo de cobre maltratado</i> .....	127
<b>Figura 51</b> <i>Costos de la no calidad en el área de trefilado</i> .....	132
<b>Figura 52</b> <i>Paradas no programadas en el área de buncheado por roturas de hilos en el proceso de trefilado</i> .....	133
<b>Figura 53</b> <i>Total de roturas proyectadas por maquina en el área de trefilado</i> .....	137
<b>Figura 54</b> <i>Total de roturas proyectadas en el área de trefilado</i> .....	138

## Lista de Apéndices

<b>Apéndice A</b> <i>Equipos e instrumentos de medición para la toma y registro de datos de la emulsión y control de roturas de hilos de cobre</i> .....	155
<b>Apéndice B</b> <i>Calculo costo de la no calidad y de la no producción máquinas trefiladoras</i> .....	156
<b>Apéndice C</b> <i>Precio cobre grado A. LME Sport Price, precio por tonelada métrica 2024</i> .....	158
<b>Apéndice D</b> <i>Formato de control y registro de datos área de trefilado</i> .....	159
<b>Apéndice E</b> <i>Tabla de lubricantes</i> .....	160
<b>Apéndice F</b> <i>Implementación jornada de 5 S, limpieza maquinas trefiladoras (desbastadoras, hornos de recocido)</i> .....	161
<b>Apéndice G</b> <i>Formato plan de mantenimiento de lubricantes área de trefilado</i> .....	162
<b>Apéndice H</b> <i>Información tanques primarios de emulsión maquinas trefiladoras</i> .....	163
<b>Apéndice I</b> <i>Formato control de rotura de hilos de cobre en el área de trefilado</i> .....	165
<b>Apéndice J</b> <i>Socialización y capacitación de registro formato de control de roturas a operarios del área de trefilado en sus puestos de trabajo</i> .....	166
<b>Apéndice K</b> <i>Formato de registro y control de roturas</i> .....	167
<b>Apéndice L</b> <i>Identificación y registro de tramos defectuosos provenientes del área de trefilado</i> .....	168

## Introducción

En los últimos años el sector energético y de telecomunicaciones ha evolucionado y crecido a pasos agigantados no solo en Colombia sino a nivel mundial, el desarrollo de nuevas tecnologías y con ello el uso de energías limpias ha llevado a los actores que interactúan en este sector al desarrollo e implementación de estrategias que les permitan ser la mejor opción en un mercado altamente competitivo.

Nexans, como empresa participe en el sector de la fabricación, producción, comercialización y distribución de conductores eléctricos y soluciones de cableado se ha convertido en un actor importante en la transformación energética a nivel mundial. Bajo este pilar Nexans Colombia apuesta al crecimiento energético no solo en Colombia sino en Latinoamérica y la región Caribe contribuyendo al crecimiento económico del país y con ello de la región.

Todo esto ha llevado a que Nexans Colombia desarrolle e implemente estrategias que le permita estar a la vanguardia en la electrificación del país, siendo una empresa altamente competitiva, viable y sostenible en el futuro. Para ello se hace necesario la búsqueda de herramientas, técnicas y metodologías que contribuyan a consolidar planes de acción estratégicos enfocados a mejorar y optimizar sus procesos y productos, pero a su vez en reducir y disminuir sus costos.

La realización de este estudio se enfoca en los fallos registrados por roturas de hilos de cobre durante el primer proceso de fabricación de conductores eléctricos en Nexans Colombia planta Bucaramanga que es el trefilado, proceso de suma importancia ya que es el primer proceso productivo donde se transforma la materia prima (Cobre) en producto en proceso para alimentar los demás procesos productivos de fabricación (cableado, Buncheado, extrusión y fraccionado).

Analizaremos las diferentes causas que generan estos fallos, los costos de no calidad que se asocian y mediante herramientas y técnicas se formularán planes de acción que permitirán a futuro la disminución de estos fallos, la optimización del proceso de trefilado y la reducción de costos de no calidad, contribuyendo al cumplimiento de las metas y objetivos de la organización.

## Planteamiento del problema

Una de las principales desviaciones generadas en el proceso de fabricación de conductores eléctricos en el área de trefilado en la empresa Nexans Colombia son las continuas fallas ocasionadas por la rotura de hilos de cobre en dicho proceso de trefilado, estas fallas internas por rotura de hilos generan una baja eficiencia y disponibilidad (OEE) en el área por el aumento de tiempos muertos generados por estos fallos (roturas) y que conllevan al aumento del costo de la producción por la generación de reprocesos, Scrap, horas extras, subutilización de maquinaria, sobreconsumo de energía eléctrica entre otros, los cuales impactan en los costos de la no calidad en el área y a su vez afectan los indicadores productivos en los siguientes procesos productivos. Según Guerrero et al., (2019). Afirma:

Es indispensable que las empresas mantengan un orden y constante monitoreo dentro de las líneas de producción contrarrestando la más mínima falla que les pueda ocasionar que se produzcan retrasos y afectar la producción llevando a la empresa a tener menos producción, además, de no cumplir con los pedidos de sus clientes (p. 35).

Desde esta perspectiva, se hace necesario realizar un diagnóstico en el área de trefilado de la empresa Nexans Colombia, que nos permita conocer la situación actual en dicho proceso ahondando en nuestro caso de estudio y determinar qué factores o causas son las que influyen en la generación de paradas no programadas por fallos en roturas de alambres de cobre y a partir de esto proponer y formular planes de acción que minimicen estos fallos y con ello los costos de la no calidad en el área.

Enfocados en este argumento podríamos plantear nuestra pregunta de estudio: ¿Es posible formular un plan de trabajo cuyas acciones estratégicas mitiguen o minimicen los costos

de la no calidad por fallos ocasionados por roturas de hilos de cobre en el proceso de trefilado en la empresa Nexans Colombia?

## Justificación

Nexans Colombia, ubicada en la ciudad de Bucaramanga es una filial de la empresa multinacional francesa Nexans, la cual se dedica a la fabricación, distribución y comercialización de conductores eléctricos y soluciones de cableado, con ventas en todo el territorio nacional y algunos países del centro y Suramérica.

El proceso de fabricación de los conductores eléctricos inicia en el área de trefilado la cual genera producto en proceso que alimentara los siguientes procesos como lo son bunchedo, cableado y extrusión.

El desarrollo de este proyecto se centra principalmente en el área y proceso de trefilado como punto crítico, ya que este proceso se encarga de alimentar los demás procesos en la planta de Bucaramanga, en contexto según Durán et al. (2011) “El proceso de trefilado es un proceso de conformado en frío que consiste en deformar homogéneamente el alambre haciéndolo pasar por un dado de menor diámetro mediante una fuerza de tiro, disminuyendo su sección transversal y alargando su longitud debido a la deformación plástica del material” (p. 2). Entendiendo esta definición, la situación problemática allí encontrada son las continuas roturas que se presentan en las líneas de las maquinas trefiladoras de cobre, las cuales están generando costos de la no calidad por fallos internos y que repercuten de manera significativa en los diferentes indicadores del área de trefilado y que a su vez está impactando también en el aumento de los costos de la no calidad en los siguientes procesos. Fallas, las cuales generan pérdida de tiempo, Scrap, tramos no conformes, retrasos e insatisfacción en nuestros clientes internos entre muchas otras y que influyen en los indicadores de productividad como el OEE de las áreas afectadas e impacta el margen contributivo comercial de la empresa; Según Gálvez et al. (2002) “La rotura de alambres durante el proceso de trefilado produce importantes pérdidas para la industria” (p. 2).

Por ello, se busca poder aplicar conceptos de la ingeniería industrial que nos permitan implementar acciones encaminadas a reducir el número de fallos por roturas en el área de trefilado, analizando las causas en las paradas no programadas de las trefiladoras por estos fallos y mediante la toma de muestras y registro de datos en el seguimiento de la emulsión y el control de roturas poder implementar acciones que nos permitan estandarizar los procesos por medio de metodologías como SQDCE, Excellence way, 5s, entre otras que conlleven a clasificar y buscar tendencias para tomar acciones preventivas que permitan un funcionamiento más continuo de las trefiladoras, evitando paradas no programadas, prolongando la vida útil de las trefiladoras y sus herramientas, mejorando la eficiencia general de operación del proceso y mitigando los costos de la no calidad que contribuyen al aumento del margen comercial de la compañía.

## Objetivos

### Objetivo general

Realizar un plan de acción estratégico que minimice los costos de la no calidad generados por paradas no programadas por roturas de hilos de cobre en el área de trefilado en la empresa Nexans Colombia.

### Objetivos específicos

Realizar el diagnóstico de la situación actual en el área de trefilado de las diferentes variables que inciden en la generación de paradas no programadas por fallos ocasionados por las roturas de hilos de cobre en el proceso de trefilación.

Recopilar, mediante la toma, registro y control, los datos de las principales variables de estudio que inciden en las paradas no programadas por roturas de hilos de cobre en el proceso de trefilado.

Analizar, generar y evaluar las estrategias planteadas, enfocadas a la reducción de costos de la no calidad generadas por roturas de hilos de cobre en el área de trefilado.

Formular el plan de acción estratégico de reducción de costos de no calidad por roturas en hilos de cobre en el proceso de trefilado.

## Marco teórico

### Marco referencial

Desde hace algunos años se ha podido evidenciar el gran crecimiento y con ello la alta competitividad de las empresas en los diferentes mercados a nivel mundial, este crecimiento acelerado de la industria ha llevado a las empresas a evolucionar y con ello a crear estrategias, métodos y herramientas que les permitan ser altamente competitivas y a su vez generar ganancias que las hagan ser sostenibles y viables en el desarrollo de sus procesos y productos hacia el futuro.

Encaminados a ser sostenibles y generar utilidades optimas en su prestación de servicios o bienes que satisfagan por completo las necesidades de sus clientes, las empresas han centrado sus esfuerzos en presentar, desarrollar y fortalecer un margen contributivo comercial que permita con sus ingresos cubrir sus costes, aumentando su capital mediante estrategias que disminuyan los costos variables generados en los diferentes procesos productivos, según Sanches (2014), citado por Palma (2019) “Concibe el margen contributivo como la diferencia de las ventas y los costos variables, sin tener en consideración los costos fijos” (p. 33). A raíz de esto se connota un gran termino que juega un papel importante en la sostenibilidad de una empresa y son los costos de la no calidad.

Es aquí, donde la calidad y la eficiencia de los procesos y los productos influyen de gran forma en el aumentar ese margen contributivo positivamente, Cazar (2023), afirma: “Los procesos ineficientes, por otro lado, pueden aumentar los costos de producción y disminuir la rentabilidad” (p. 36). De igual manera Romero y Tamayo (2007), resaltan lo siguiente: “Los costos internos de la no calidad son todos los errores que tiene la empresa y que han sido detectado antes de que los bienes o servicios sean aceptados por los clientes, porque las

actividades no se hicieron bien todas las veces” (p. 18). Estos errores, como los presentados en las fallas de los productos en las diferentes etapas de su fabricación representan reprocesos, horas extras, subutilización de maquinaria, consumo de nueva materia prima para tratar de solventar dichos problemas y que en muchas oportunidades conllevan a retrasos e incumplimientos en la entrega de productos al cliente.

Entendiendo que la no calidad influye en los costos y a su vez genera graves traumatismos en los procesos productivos, es de suma importancia el desarrollo de estrategias, metodologías y técnicas que permitan contrarrestar la no calidad en una organización, según García y Ruez (2002), afirman que: “Los costos de la mala calidad primero deben ser identificados y luego convertirlos en una oportunidad de mejora, es decir reducir hasta eliminar la causa que los producen” (p. 7).

Barrios (2013), en su artículo costos de calidad y costos de no calidad: una decisión de mercado, invita a reflexionar sobre la importancia de controlar y registrar estos costos “Lo paradójico es que en muchas empresas no se llevan registros de las pérdidas producidas por la mala calidad, debido a que toda área trata a toda costa de ocultar sus ineficiencias” (Secc. Costos de no calidad, párr. 4).

Ruiz (2002), citado por Valderrama y Terán (2013), señala que:

Una vez que se han detectado las fallas y antes de ser enviados a los clientes es necesario realizar actividades tendientes a eliminar aquellas imperfecciones encontradas en los productos, esto incluye tanto materiales, mano de obra y costos de calidad, gastos de fabricación, así como herramientas o adecuación de máquinas (p. 14).

Zambrano y veliz (2018), en su artículo Los costos de la calidad: su relación con el sistema de costes ABC, afirma: " El control de la calidad contribuye a la satisfacción de las

necesidades de los clientes con los mínimos costos, sobre todo si el trabajo es desarrollado adecuadamente en todas las etapas del proceso de creación de valor (producción, comercialización y administración)” (Secc. Conclusiones, párr. 1). Siendo la calidad, su costo primordial para mantener un nivel óptimo de recursos.

### **Marco conceptual**

**Alambre de cobre:** Es un filamento flexible de metal (cobre), de forma redonda según su proceso de trefilación, cuya función principal es la conducción de corriente eléctrica a través de él. Según Garate (2021), afirma que:

Los conductores eléctricos o materiales conductores son aquellos que tienen poca resistencia a la circulación de la corriente eléctrica, dadas sus propiedades específicas. Su estructura atómica facilita el movimiento de los electrones a través de estos, con lo cual este tipo de elementos favorece la transmisión de electricidad (p. 39).

**Costos de la no calidad:** Llamados también costos de no conformidad, son todos aquellos costos en lo que incurre una organización o empresa como resultado de fallos en sus procesos o productos, estos fallos pueden ser de carácter externos o internos; conocido también como el "precio del incumplimiento" o el costo de hacer las cosas mal o incorrectamente. Según Lima (2021), afirma que: “Son aquellas erogaciones producidas por ineficiencias o incumplimientos, las cuales son evitables, como, por ejemplo: Reprocesos, desperdicios, devoluciones, reparaciones, reemplazos, gastos por atención a quejas y exigencias de cumplimiento de garantías” (p. 30).

**Costos por fallas internas:** Son todos aquellos costos que se generan por la falta de calidad al interior de una organización dentro de los procesos productivos: “constituyen la acumulación de costos en aquellos productos o servicios que no cumplen con las

especificaciones mínimas requeridas en los parámetros de calidad, por tanto, no están disponibles para la comercialización y son generados por la falta de control en el proceso de producción.

(Sánchez y Bustamante, 2018), citado por (Sigua, 2020, p. 227).

**Fallos en alambres:** Un fallo es la rotura o fractura de un material, es la separación parcial o total de este debido a diversas causas como fatiga del material, altas cargas de tensión, altas temperaturas entre otras. Según Inostroza (2021), afirma que:

El proceso de degradación dado por la demanda mecánica (reflejado en la distribución de tensiones y deformaciones, entre otros, exposición a altas temperaturas, etc., se traduce en efectos de daño en el cable, podría resultar en la ruptura de uno o más componentes del cable, lo que eventualmente se traduciría en la falla de éste (p. 9).

**Emulsión:** Son lubricantes con determinadas propiedades que actúan en el proceso de trefilación cuya función principal es la de lubricar y refrigerar los alambres al paso por los dados en dicho proceso, alargando la vida útil de los dados o hileras de trefilación, los cabrestantes y proporcionando un mejor acabado en la superficie del alambre, la emulsión en el proceso de trefilación juega un papel importante en la reducción de fallas o roturas de alambres en este proceso: “Son líquidos a base de aceites minerales en agua utilizados en las operaciones industriales de formado de materiales que facilitan la deformación de estos, cumpliendo la función de lubricación y refrigeración a la vez” (Fudrini y Gonzáles, 2003).

**Lubricación:** Son compuestos minerales o sintéticos en su gran mayoría a base de agua cuya finalidad es disminuir las fuerzas de fricción generadas por el paso del alambre entre los dados y las poleas de tiro o cabrestantes, su principal función es la de enfriar las diferentes partes que actúan en el proceso de trefilación y de limpiar y eliminar los residuos generados por este proceso: “Es esencial la lubricación adecuada en el trefilado para reducir la fuerza de tirado al

disminuir la fricción entre el alambión y la trefila, para mejorar la vida de la trefila, regular la temperatura en el proceso y optimizar el acabado superficial de la pieza final” (Orsi, 2019, p. 14).

**OEE (Overall Equipment Effectiveness):** Es un indicador que mide la eficiencia y la productividad con la que trabajan los equipos o maquinas en un proceso productivo, según Herrera, (2020), afirma que:

El OEE es una herramienta que mide la efectividad no solo desde la perspectiva del tiempo de funcionalidad de la máquina, sino que busca crear consciencia y responsabilidad en los operadores y el personal a cargo del mantenimiento para lograr en conjunto una extensión y optimización del rendimiento de los equipos (p. 29).

**Paradas no programadas:** Son tiempos imprevistos en los cuales un equipo o maquina deja de funcionar, generando perdidas en la eficiencia y productividad de este: “Corresponden a los periodos en los que las maquinas no están trabajando por motivos que no estaban previstos. Por ejemplo: averías, falta de los materiales necesarios, falta de energía en la planta, falta de personal operativo, fallos de procesos, reprocesos” (Rodríguez, 2019, p. 27).

**Trefilado:** Es un proceso mecánico mediante el cual un material metálico, en el caso de la fabricación de conductores eléctricos (aluminio, aleaciones, y cobre) que posee determinado diámetro, pasa por una serie de dados o hileras que reducen de forma progresiva el diámetro del alambre a un diámetro mucho menor sin presentarse perdidas de material:

El trefilado propiamente dicho consiste en el estirado del alambre en frío, por pasos sucesivos a través de hileras, mandriles o dados cuyo diámetro es paulatinamente menor. Esta disminución de sección da al material una cierta acritud en beneficio de sus características mecánicas (Flores, 2022, p.31).

## **Marco contextual de la empresa Nexans Colombia, planta Bucaramanga**

### ***Descripción general de la empresa***

Nexans es una empresa multinacional francesa con plantas industriales en 41 países, con más de 70 plantas y fábricas y 28500 empleados. Por más de 120 años, Nexans se ha convertido en un actor principal en la electrificación del planeta, siendo líder en la fabricación de sistemas de cableado y servicios en los diferentes campos de la electrificación, desde la generación, transmisión, distribución y usos, aportando soluciones y servicios innovadores con tecnología avanzada; soluciones y servicios que conllevan a un negocio sostenible, renovable, seguro con sus colaboradores y clientes y amigable con el medio ambiente.

Nexans es líder en el diseño y la fabricación de sistemas de cableado y servicios en cuatro áreas principales: Edificación y Territorios, Alta Tensión y Proyectos, Industria y Soluciones, Telecomunicaciones y Data. (Nexans.Co, 2024).

Su unidad de negocios para sur América es la BU andina conformada por los países de Chile (MADECO), Colombia (Centelsa Y Nexans Colombia) y Perú (INDECO y Cobrecon).

**Historia.** Nexans Colombia planta Bucaramanga, inicia operaciones en el año de 1983 bajo la razón social CEDSA Cables eléctricos de Santander cuya actividad principal era la fabricación de conductores flexibles y de baja tensión. La adquisición de nueva maquinaria, el desarrollo de tecnologías y la fusión con la empresa mexicana Condumex en el año 2004, abrió nuevas puertas a la compañía ampliando su mercado con nuevos productos. En el año 2007, MADECO empresa multinacional chilena líder en la producción y comercialización de conductores eléctricos en Latinoamérica adquiere la mayoría de las acciones de la compañía (80%). En el año 2008, la multinacional francesa Nexans líder en el mercado mundial de conductores eléctricos, telecomunicaciones y soluciones de cableado adquiere el 100% de las

acciones de CEDSA Cables eléctricos de Santander, cambiando su razón social a Nexans Colombia S. A.

En el año 2022, alineada bajo la visión estratégica de la compañía en convertirse en un actor importante en la electrificación, el grupo Nexans adquiere la compañía Cables de energía y telecomunicaciones S.A (Centelsa), convirtiéndose en el principal actor de la electrificación en Colombia y el caribe; Contando con 5 plantas en el territorio nacional: Nexans Colombia planta Bucaramanga, Centelsa by Nexans (planta 1, planta 2, planta 3 y Cobres de Colombia) en Yumbo y Alcatek (Caloto, Valle del cauca).

Nexans Colombia es una empresa filial del grupo Nexans, con planta industrial ubicada en el parque industrial en la ciudad de Bucaramanga, con un área física de 22500 m<sup>2</sup>. Cuenta con 198 colaboradores en las diferentes áreas de la compañía como administrativa, compras, finanzas, logística, mantenimiento, producción y técnica. Con una capacidad instalada mensual de 650 toneladas de cobre y 250 toneladas de aluminio.

Certificada bajo las normas ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 y ISO 45001:2018 con el certificado ICONTEC, con el objetivo de definir, desarrollar, estructurar y aplicar las diferentes normas y controles bajo el compromiso de las directivas gerenciales y todas las áreas y dependencias en el cumplimiento del sistema de gestión integral de la compañía. Nexans Colombia cuenta con el respaldo técnico de sus productos, avalados bajo el certificado de conformidad RETIE (Reglamento técnico de Instalaciones Eléctricas para Colombia).

### ***Componente estratégico de la empresa***

Nexans Colombia, como filial del grupo Nexans, se rige bajo unos principios y alineamientos estratégicos que la definen como empresa y la enfoca en el cumplimiento de su objetivo primordial de electrificar el futuro.

**Misión.** Inspirar y enriquecer la experiencia de nuestros clientes, desarrollando servicio y soluciones innovadoras que contribuyan a la electrificación sostenible del futuro mejorando la calidad de vida (Nexans.co, 2024).

**Visión.** Electrificar el futuro en Colombia y Latinoamérica (Nexans.co, 2024).

**Política integral.** Nexans Colombia está comprometida con el cumplimiento de estándares nacionales e internacionales de calidad, que permiten generar un bienestar y satisfacción en los cliente, empleados y partes interesadas, asignando recursos financieros, físicos, humanos y tecnológicos que garanticen el cumplimiento de los requisitos legales y técnicos, logrando el mejoramiento continuo del sistema de gestión integral, a su vez, buscando siempre mejorar la calidad de vida y las condiciones de trabajo de sus empleados, identificando, evaluando y controlando riesgos, minimizando la generación de enfermedades laborales, accidentes de trabajo e impactos ambientales y creando conciencia en la preservación y el cuidado del medio ambiente (Nexans.co, 2024).

El constante crecimiento en todas las áreas de Nexans Colombia, el factor humano como parte fundamental en la solidificación, sostenibilidad y viabilidad de la compañía, la implementación de nuevas tecnologías y los nuevos retos y tendencias del mercado de conductores y soluciones eléctricas entre otros, direccionados a nuestro objetivo de electrificar el futuro ha enfocado y consolidado la construcción y vivencia en cada uno de los integrantes de la organización de valores corporativos como ser pioneros en la transformación energética, ser dedicados a cumplir con los más altos estándares de calidad y rendimiento y ser unidos para lograr el cumplimiento de nuestro objetivo.

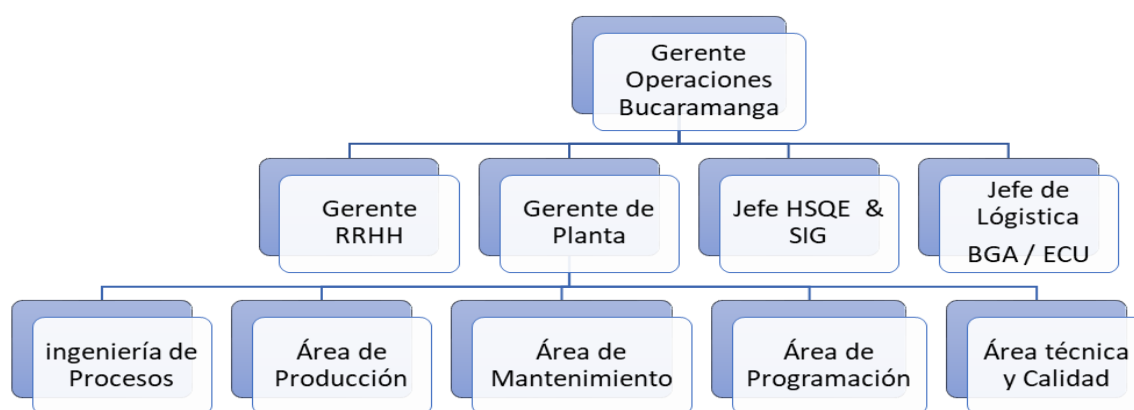
### ***Estructura organizacional***

Nexans a nivel de Suramérica, se encuentra conformada por la unidad de negocios Andina (BU Andina), conformada por los países de Chile (MADECO), Perú (INDECO) y Colombia con fabricas ubicadas: dos de ellas en la ciudad de Yumbo (Centelsa by Nexans y Cobres de Colombia), una en Caloto valle del Cauca (Alcatek), y una en la ciudad de Bucaramanga (Nexans Colombia), con centro de operaciones en la ciudad de Cali (Colombia), de donde se reporta a la casa matriz en Francia todas las operaciones registradas en el mercado sudamericano.

Nexans Colombia planta Bucaramanga se encuentra conformada por diferentes área o jefaturas (Producción, mantenimiento, recursos humanos, técnica, etc.), donde se trabaja de forma mancomunada en la consecución de los objetivos y que bajo su gerencia general trabajan de la mano con las demás gerencias generales, tanto de Colombia como de toda la BU Andina.

### **Figura 1**

*Diagrama organizacional Nexans Colombia*



*Fuente.* Adaptado de Nexans. (2024). Estructura organizacional Nexans Colombia, Planta Bucaramanga.

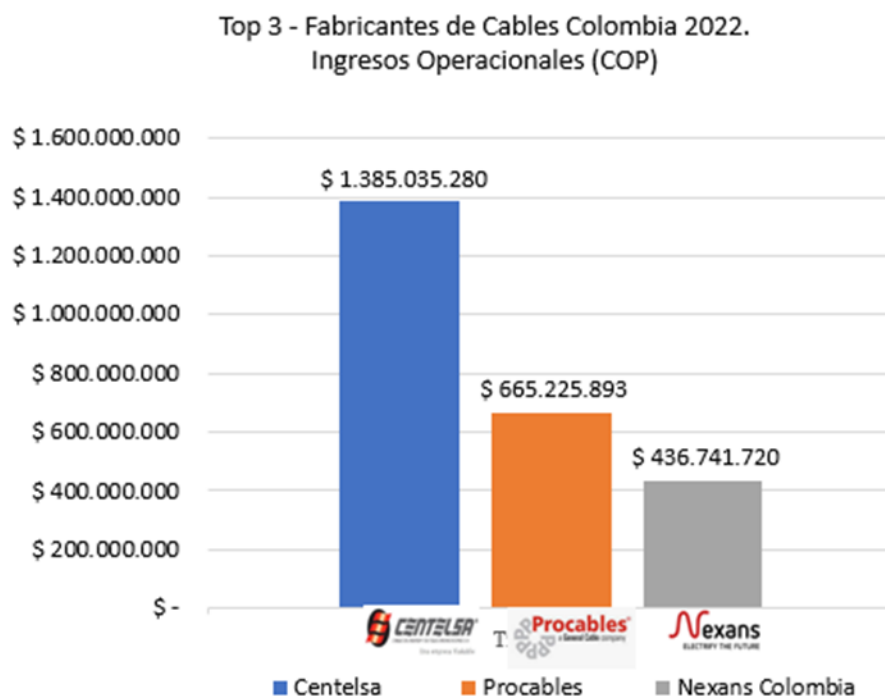
### *Análisis externo de la empresa*

Nexans Colombia, bajo la implementación y desarrollo de la mejora continua con su programa corporativo Nexans Excellence Way, la búsqueda constante de innovación, la calidad de sus procesos y el gran sentido de pertenencia de sus colaboradores han permitido en la actualidad convertirse en uno de los principales proveedor de conductores y soluciones eléctricas a empresas tanto nacionales como internacionales, atendiendo cuatro principales segmentos en el mercado de conductores eléctricos como son la generación, transmisión, distribución y usos. Afianzando grandes lazos con empresas como VENTUS, OTACC, JE JAIMES, Enel grupo power, Elecnor, Grupo EPM, CELSIA, MELEXA, CABRECOL, EICH electro iluminaciones Chapinero, DELECTRICAS, entre otros.

Estas importantes alianzas han permitido que Nexans Colombia logre consolidarse en el mercado nacional como uno de los más importantes gestores en la fabricación de conductores eléctricos, posicionándola como compañía para el año 2022 en el tercer lugar según ingresos operacionales como se muestra en la figura 2, siendo para el año 2024 tras la compra y fusión con la empresa Centelsa la compañía número uno en el ámbito de fabricación de conductores y soluciones eléctricas a nivel nacional.

## Figura 2

*Top 3 empresas fabricantes de conductores eléctricos nacionales 2022*



*Fuente.* Adaptado de: Superintendencia de Sociedades (2023) *Informe de las 1000 empresas más grandes del país 2023*. <https://www.supersociedades.gov.co>

En la figura anterior, se muestra el top 3 de empresas fabricantes de conductores eléctricos en Colombia en el año 2022 según ingresos operacionales (COP).

El desarrollo y la fidelidad de Nexans Colombia en la satisfacción total de sus clientes en todo su entorno integral, ha llevado a la compañía a un crecimiento sistemático y sostenibles, a pesar de los contratiempos sufridos en el pasado como la inundación por parte del río de Oro que arrasó la ciudad de Girón y con ello un gran número de empresas que se vieron seriamente afectadas por el desbordamiento del río entre ellas Nexans Colombia quien sufrió el 100% de afectaciones en sus instalaciones, el paso por una pandemia mundial como el COVID 19 y diferentes momentos difíciles en la economía del país, han permitido a la empresa mostrar su empuje y coraje por salir adelante, posicionándose en la actualidad como una de las más grandes

empresa del país en fabricación de conductores y soluciones eléctricas, llegando a fabricar en el año 2023 como se muestra en la tabla 1, la cantidad de 8´773234 Km entre todas las familias de cables y con una excelente proyección para el año 2024.

**Tabla 1**

*Top 10 – Facturación de conductores eléctricos por familias 2023 - planta Bucaramanga*

Puesto	Facturación (Km)	Conductores por Familias
1	1954736	Nexans CO Múltiplex de Aluminio
2	1531802	Nexans CO Cable THHN/THWN -2 14 AL 8 AWG
3	717661	Nexans CO Alambre de Cobre THHN/THWN
4	610066	Nexans CO Cables Tipo Encauchetado - Multiflex
5	565613	Nexans Co Cables 14 – 8 LSHF
6	550201	Nexans CO Cables de Aluminio Aislados
7	533460	Nexans CO Acometida Antifraude
8	517905	Nexans CO Cable THHN/THWN -2 6 AL 4/0AWG
9	237104	Nexans CO C Desnudo Cu
10	152457	Nexans CO Cable S8000

*Fuente.* Adaptado de: Nexans Colombia (2024). Informe de facturación, área comercial

En la tabla 1, se muestra el Top 10 de facturación en ventas del año 2023 en la planta Bucaramanga por familias de conductores dada esta facturación en kilómetros de cable.

Nexans Colombia planta Bucaramanga, ha unido todos sus esfuerzos para seguir siendo un referente integral en todos sus procesos, lo que la ha llevado a cumplir sus objetivos mediante la satisfacción total de nuestros cliente, la consolidación estratégica con nuestros proveedores, el desarrollo integral de su recurso humano, la innovación tecnológica de procesos y productos fundamentados en un sistema de gestión de la calidad entre otros lo cual se ha reflejado en sus ventas a lo largo del 2024 como lo indica la tabla 2.

**Tabla 2**

*Facturación de conductores eléctricos 2024. (Ventas en toneladas)*

Ventas despachadas desde Bucaramanga - 2024	
Mes	Toneladas
Enero	611
Febrero	481
Marzo	552
Abril	639
Mayo	514
Junio	357
Julio	310
Agosto	325
Septiembre	443
Octubre	434

*Fuente.* Adaptado de: Nexans Colombia (2024). *Informe Área de logística; Informe Q3.*

En la tabla 2, se describe la facturación o ventas de conductores eléctricos mes a mes dada en toneladas en lo corrido del año 2024, a pesar que se observa una disminución en las ventas en los últimos meses comparados con los 5 primeros meses del año debido a los problemas económicos que afronta el país, las ventas se han mantenido bajo las proyecciones dadas por la alta gerencia.

### **Proceso de trefilado Nexans Colombia - planta Bucaramanga**

Antes que nada, se hace necesario conocer que es un conductor eléctrico. Un conductor eléctrico es un material el cual permite fácilmente el paso de la corriente o electricidad sobre el: “Los conductores son materiales (generalmente metales), cuya estructura electrónica les permite conducir la corriente eléctrica a bajas temperaturas o temperatura ambiente, su resistividad al paso de la corriente eléctrica es muy baja” (Farrera, 2008, p. 1).

El proceso de trefilado es el primer eslabón en la cadena de fabricación de conductores eléctricos, este proceso inicia con el desbaste o alargamiento de una materia prima metálica que para nuestro estudio es el cobre el cual viene embalado en rollos en forma de una varilla continua

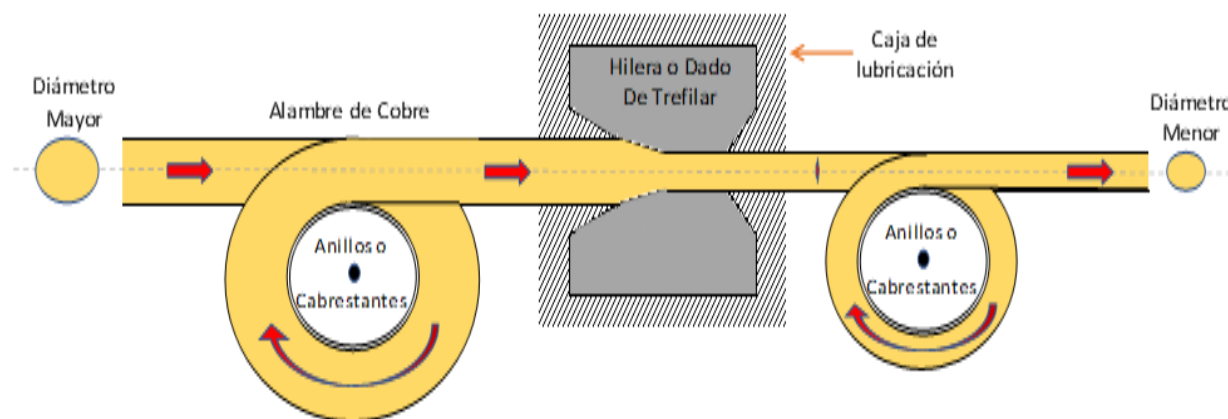
circular y que mediante el proceso de desbaste este sufre un alargamiento o estiramiento al paso por una serie de hileras o dados hasta obtener los diámetros requeridos según la orden de producción:

El trefilado propiamente dicho consiste en el estirado del alambre en frío, por pasos sucesivos a través de hileras, dados, mandriles o dados cuyo diámetro es paulatinamente menor. Esta disminución de sección da al material una cierta acritud en beneficio de sus características mecánicas (Flores, 2021).

Cabe resaltar, que en el proceso de desbaste del alambre en el trefilado de cobre bajo el control óptimo de todas las variables que interactúan en este proceso, no se presenta ninguna pérdida de material de cobre durante el estiramiento de este.

### Figura 3

*Proceso de desbaste en una trefiladora de cobre*



*Nota.* Proceso de reducción de área de un conductor de diámetro mayor a través del paso por un dado o hilera de trefilar. *Fuente.* Autoría Propia.

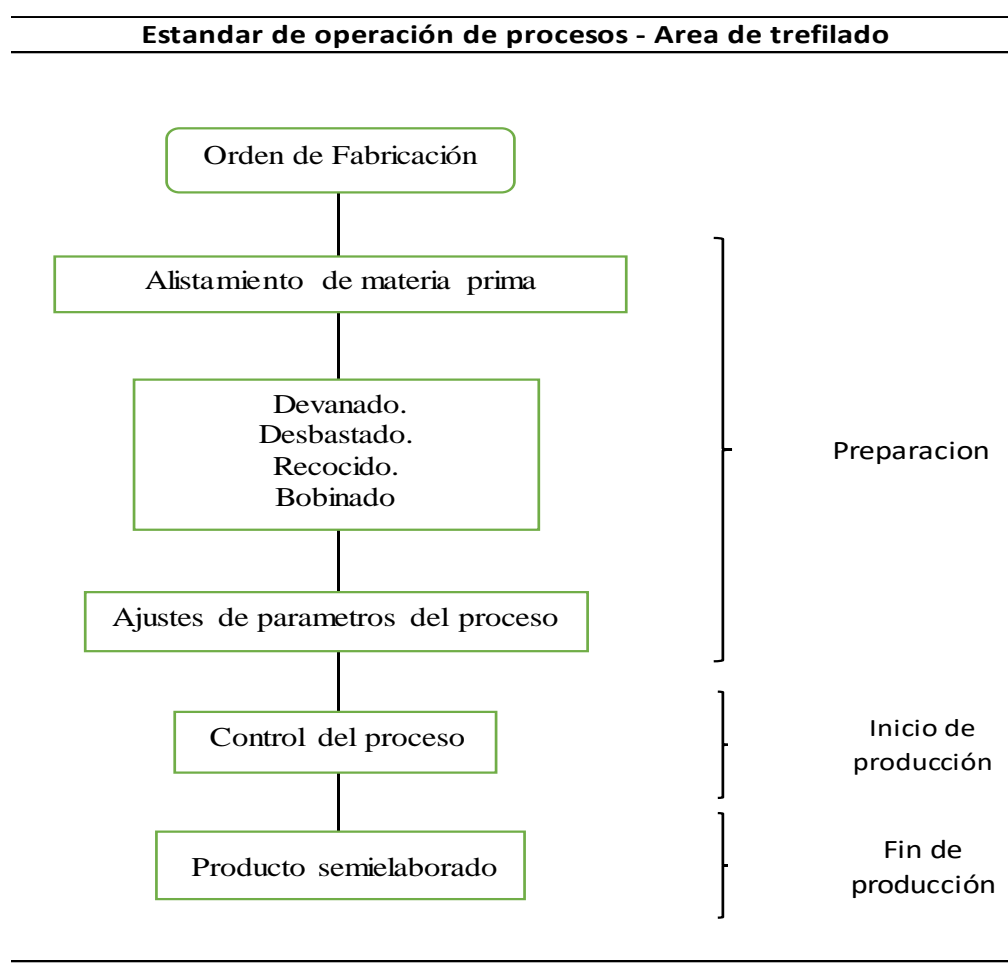
Este alambre ya estirado pasa por un horno o recámara de recocido donde se le aplica un voltaje al alambre al paso por las poleas recocedoras, cuyo resultado final es un alambre de cobre con propiedades y valores de ductilidad, estiramiento, carga de ruptura y resistencia permitidas

según la normativa colombiana dada por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).

Por último, este alambre pasa a un bobinador o encestador para ser enrollado ya sea en carretas metálicas o en cestas dependiendo del siguiente proceso de fabricación que sea requerido, este proceso de operación se ilustra en la siguiente Figura.

**Figura 4**

*Estándar de procesos de operación – área de trefilado*

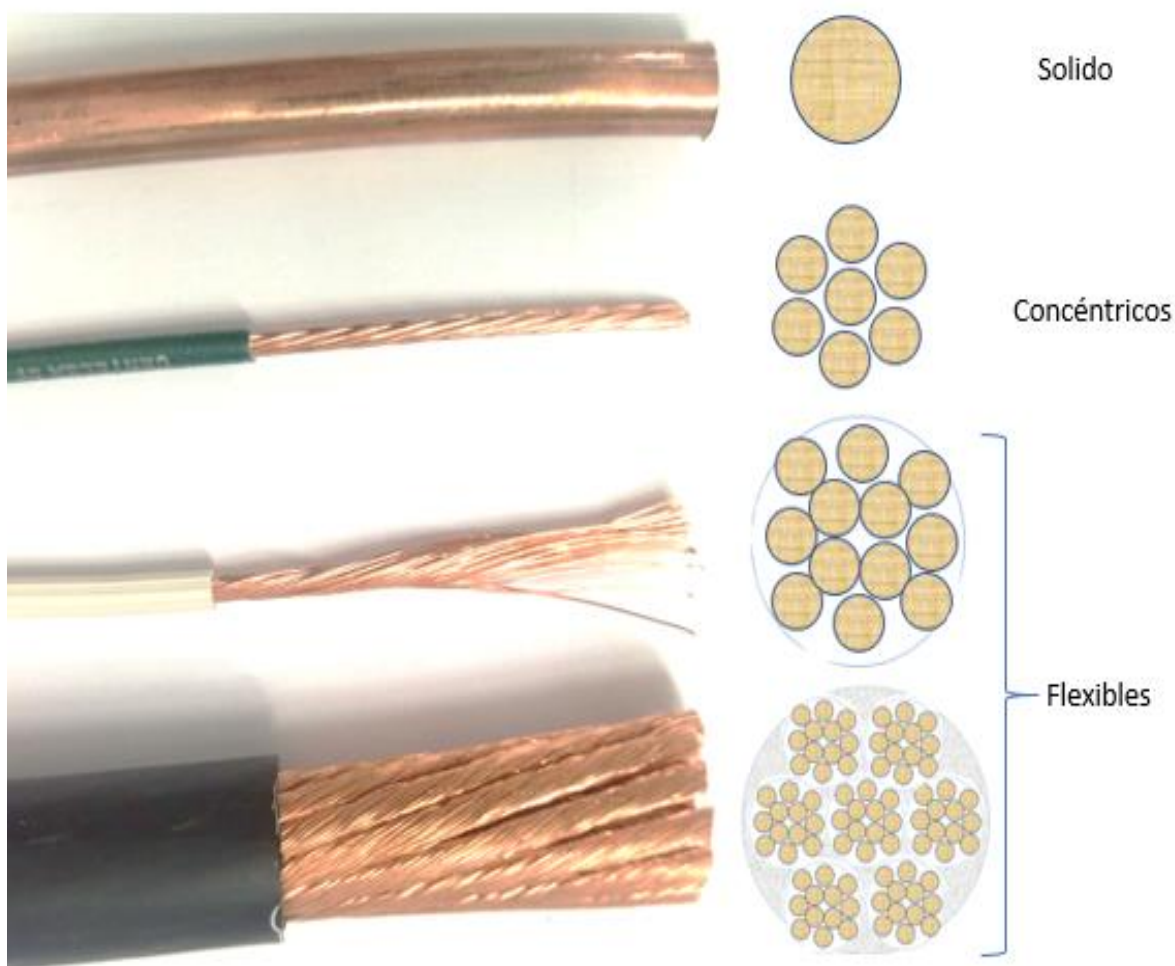


*Fuente.* Adaptado de: Nexans Colombia. (s.f.) SOP Trefilado Colombia, Área de ingeniería de procesos.

ES importante resaltar que el producto final obtenido en el proceso de trefilado será la materia prima en los siguientes procesos productivos en Nexans Colombia, ya sea al pasar directamente a una extrusora como alambre y ser revestido con un material aislante o pasar a un proceso de cableado o bunchado donde la reunión de varios o muchos hilos o alambres de cobre conformaran una nueva estructura compacta, en la figura 5, se muestra los diferentes tipos de cables según su construcción (Número de hilos).

### Figura 5

*Tipos de conductores según su construcción*



*Fuente. Autoría Propia.*

El área de trefilado en Nexans Colombia está conformada por cuatro máquinas trefiladoras según como se indica en la tabla 3. Para el desarrollo de este estudio se trabajará en la observación y recolección de datos con las maquinas trefiladoras de la línea de cobre (TRE001, TRE006 y TRE007), con el objetivo de identificar y determinar las fuentes que generan las roturas de hilos de cobre en dicho proceso.

**Tabla 3**

*Maquinas trefiladoras Nexans Colombia*

Maquina	Línea	Fabricante	Código Nexans
Línea de desbaste Primaria para cobre (mono hilo)	Cobre	TECALSA	TRE001
Línea de trefilado fino para cobre (16 hilos)	Cobre	NIEHOFF	TRE006
Línea de trefilado intermedia para cobre (8 hilos)	Cobre	NIEHOFF	TRE007
Línea de desbaste Primaria para Aluminio (mono hilo)	Aluminio	SAMP	TRE008

*Nota.* La tabla anterior, relaciona el número de trefiladoras en operación en el área de trefilado, relacionando la línea de trabajo, su fabricante y su código o identificación en Nexans Colombia.

*Fuente.* Autoría Propia.

**Caracterización y ficha técnica maquinas trefiladoras de cobre en Nexans Colombia**

A continuación, se presenta la caracterización y ficha técnica de cada una de las trefiladoras de la línea de cobre en Nexans Colombia planta Bucaramanga.

*Línea de desbaste primaria para cobre (mono hilo), TRE001 (TECALSA)*

**Figura 6**

*Línea de desbaste primaria para cobre (mono hilo). Trefiladora TECALSA*



*Nota.* En la figura anterior, se muestra la zona de desbaste de la trefiladora de gruesos TECALSA (TRE001), se observa los anillos o cabrestantes de tiro y las recamaras donde se encuentran los dados o hileras de trefilación. *Fuente.* Autoría Propia.

**Tabla 4**

*Caracterización del proceso de trefilado de la TRE001*

Entradas	Procesos	Salidas
Alambrón de cobre 8 mm	Devanado.	Alimentación 1,98
	Desbastado.	Alimentación 2,28
	Recocido.	Cables de cobre del 8 AWG al 4/0 AWG
	Bobinado	Cables de cobre del 250 Kcmil al 500 Kcmil

*Nota.* En la tabla anterior, se presenta la caracterización del proceso de la trefiladora de gruesos, desde la ubicación de la materia prima (alambrón de cobre), sus diferentes procesos hasta la salida de los hilos de cobre en sus diferentes calibres como producto semielaborado para los siguientes procesos de fabricación. *Fuente.* Autoría Propia.

**Tabla 5***Ficha técnica TRE001*

Línea de desbaste Primaria para cobre y aluminio (mono hilo)	
Tipo: T40 - 30/13 + F35/140	
Código Nexans	TRE001
Fabricante	TECALSA
País	España
Año	1997
<b>Datos técnicos:</b>	
Diametro máximo de entrada	8 mm
Alambrón de cobre	
Diametro máximo de salida hilo	3,264 mm
Diametro mínimo de salida hilo	1,265 mm
Velocidad máxima de operación (Cu suave)	18 mts/seg
Velocidad mínima de operación (Cu. duro)	6 mts/seg
Velocidad mínima de operación (A. suave)	3,5 mts/seg
Pasos	13
Diámetros anillos de tiro	6 x 400 mm 7 x 300 mm
Reducción sección hilo	Escalonada 35,6% - 26,1%
Alimentación	Tensión trifásica de 440 v - 60 Hz
Desbastadora	Base robusta estructurada monobloque
Horno de Recocido	Continuo tipo F35/140
	Amperaje máximo de recocido
Bobinador	3000 Amp
	Bobinador doble
	semiautomático para carretas metálicas 560 mm, 630 mm y 800 mm
	Capacidad
	300 kg a 950 Kg
	Modelo
	BD - 80S
Encestador	Capacidad: 1400 kg
	Modelo HC - 750

*Fuente.* Adaptado de: Manual de instrucciones & servicios TECALSA (Barcelona – España).

Suministrado por Área de mantenimiento Nexans Colombia. Planta Bucaramanga.

***Línea de trefilado fino para cobre (16 hilos), TRE006 (NIEHOFF)***

**Figura 7**

*Línea de trefilado fino para cobre (16 hilos). Trefiladora NIEHOFF*



*Nota.* En la figura anterior, se muestra la zona de desbaste de la trefiladora de finos 16 hilos (TRE006), se observa los dos niveles de anillos o cabrestantes de tiro y las recamaras donde se encuentran los dados o hileras de trefilación. *Fuente.* Autoría Propia.

**Tabla 6**

*Caracterización del proceso de trefilado fino de la TRE006*

Entradas	Procesos	Salidas
Alimentación 1,98 mm	Devanado. Desbastado. Recocido. Bobinado	Cables flexibles tipo (J) del 8 AWG al 4 AWG Cables flexibles tipo (IJ) del 2 AWG al 500 Kcmil Cables en mm <sup>2</sup>

*Nota.* En la tabla anterior se presenta la caracterización del proceso de la trefiladora de finos 16 hilos (TRE006), desde la ubicación de la materia prima (alimentación 1,98 proveniente de la trefiladora de gruesos), sus diferentes procesos hasta la salida de los hilos de cobre en sus diferentes calibres como producto semielaborado para los siguientes procesos de fabricación.

*Fuente.* Autoría Propia.

**Tabla 7**

*Ficha técnica trefiladora de finos. TRE006*

Línea de trefilado fino para cobre (16 hilos)	
Tipo: ZIEHSTEINFOLGE FUER MMH 120. E1	
Código Nexans	TRE006
Fabricante	NIEHOFF
País	Alemania
Año	1993
<b>Datos técnicos:</b>	
Numero de hilos	16
Numero de bloques desbastadora	2 x 8 hilos c/u
Diametro máximo de entrada hilo de cobre	2,05 mm
Diametro máximo de salida hilo de cobre	0.643
Diametro mínimo de salida hilo	0,254 mm
Velocidad máxima de trefilado	14 mts/seg
Velocidad mínima de trefilado	8 mts/seg
Numero de pasos	18
Diámetros anillos de tiro	7 x 100 mm 6 x 120 mm
Reducción sección hilo	26%
Alimentación	Tensión trifásica de 440 v - 60 Hz
Desbastadora	Base robusta estructurada monobloque
Horno de Recocido	Modelo Continuo tipo RM 200 .1. V .24.2850
	Amperaje máximo de recocido 2850 Amp
Bobinador	Bobinador tipo coiler con 2 torres verticales para carretas metálicas 800 mm; dinámico
	Capacidad 1000 kg
	Modelo WSV800 .1. EA

*Fuente.* Adaptado del manual de instrucciones & servicios línea MMH 120. NIEHOFF

GRUPPE, (Maschinenfabrik, Germany). Suministrado por el Área de mantenimiento Nexans Colombia. Planta Bucaramanga.

*Línea de trefilado intermedio para cobre (8 hilos) NIEHOFF (TRE007)*

**Figura 8**

*Línea de trefilado intermedio para cobre (8 hilos). Trefiladora NIEHOFF*



*Nota.* En la figura anterior, se muestra la zona de desbaste de la trefiladora de intermedios 8 hilos (TRE007), se observa los anillos o cabrestantes de tiro en un solo nivel y las recamaras donde se encuentran los dados o hileras de trefilación. *Fuente.* Autoría Propia.

**Tabla 8**

*Caracterización del proceso de trefilado intermedio (8 Hilos). NIEHOFF (TRE007)*

Entradas	Procesos	Salidas
Alimentación 2,28 mm	Devanado.	Cables tipo (B) del 8 AWG al 14 AWG Pantallas 0,40 - 0,50 - 0,64 Cables en mm <sup>2</sup>
	Desbastado.	
	Recocido.	
	Bobinado	

*Nota.* En la tabla anterior, se presenta la caracterización del proceso de la trefiladora de intermedios 8 hilos (TRE007), desde la ubicación de la materia prima (alimentación 2,28 proveniente de la trefiladora de gruesos), sus diferentes procesos hasta la salida de los hilos de cobre en sus diferentes calibres como producto semielaborado para los siguientes procesos de fabricación. *Fuente.* Autoría Propia.

**Tabla 9***Ficha técnica trefiladora intermedios. TRE007*

Línea de trefilado intermedia para cobre (8 hilos)	
Tipo: ZIEHSTEINFOLGE FUER MMH 121.	
Código Nexans	TRE007
Fabricante	NIEHOFF
País	Alemania
Año	1997
<b>Datos técnicos:</b>	
Numero de hilos	8
Numero de bloques desbastadora	1 X 8 hilos
Diametro máximo de entrada hilo de cobre	2,58 mm
Diametro máximo de salida hilo de cobre	1.29 mm
Diametro mínimo de salida hilo	0,321 mm
Velocidad máxima de operación	21 mts/seg
Velocidad máxima de operación	10 mts/seg
Numero de pasos	16
Diámetros anillos de tiro	16 x 100 mm
Reducción sección hilo	26%
Alimentación	Tensión trifásica de 440 v - 60 Hz
Desbastadora	Base robusta estructurada monobloque
Horno de Recocido	Modelo Continuo tipo RM 250 .1. V .16.3850
	Amperaje máximo de recocido 3850 Amp
Bobinador	2 bobinadores simples estáticos, independientes para carretas metálicas 800 mm
	Capacidad 1000 kg
	Modelo SNH801 .1. G. E

*Fuente.* Adaptado del manual de instrucciones & servicios MMH 120 / 121. NIEHOFF

Maschinenfabrik (Germany). Suministrado por el Área de mantenimiento Nexans Colombia.

Planta Bucaramanga.

## **Metodología**

La presente investigación se presenta como un tipo de investigación descriptiva y a su vez exploratoria, bajo un enfoque cuantitativo, cuyo objeto de estudio se realiza en la Empresa Nexans Colombia en la planta de la ciudad de Bucaramanga, específicamente en el área de trefilado.

Para ello, este estudio se desarrolla en cuatro fases, las cuales se realizaron en la línea de trefilación de cobre conformada por tres máquinas trefiladora: trefiladora de gruesos TECALSA (TRE001), trefiladora de finos NIEHOFF (TRE006) y Trefiladora de intermedios NIEHOFF (TRE007), máquinas de suma importancia en el desarrollo del proceso productivo de la compañía.

En la primera fase, se realizó el diagnóstico de la situación actual en el área de trefilado de las diferentes variables que inciden en la generación de paradas no programadas por fallos ocasionados por las roturas de hilos de cobre en el proceso de trefilación.

En la segunda fase, se implementó la recolección de datos durante un periodo de tiempo de 8 meses mediante la observación directa en el proceso de trefilado de cobre donde se lleva a diario la toma de muestras de las roturas de alambres, su diligenciamiento en el formato de control, registro fotográfico de cada muestra y su registro en la base de datos, igualmente la toma y registro diario de muestras de la lubricación (emulsión) de las trefiladoras y sus variables (Concentración graso, temperatura, PH entre otros), factor importante en el óptimo desempeño y calidad en el trefilado de alambres de cobre. Para el desarrollo de esta fase, se emplean instrumentos y equipos de medición en la toma de muestras tanto para el control de las emulsiones como para el control de las roturas de hilos en esta área (ver Apéndice A).

Implementada la fase de recolección y registro de datos de las roturas de alambres de cobre y la lubricación de las trefiladoras, se procede a la fase 3 que se fundamentó en el análisis, la generación y evaluación de datos mediante herramientas estadísticas, diagramas de Pareto, diagrama de Ishikawa entre otros que permitieron basados en los hallazgos encontrados la formulación de planes de acción preventivos que minimicen las roturas de alambres de cobre y optimicen la calidad y durabilidad de la emulsión en el área de trefilado en Nexans Colombia.

Por último, en la fase 4 se implementó la formulación del plan estratégico de reducción de costos de no calidad por roturas de hilos de cobre en el proceso de trefilado en Nexans Colombia.

Con el fin de comprender esta temática, se realizó una revisión de la literatura la cual se estructuró con una indagación en diferentes fuentes de información confiables como Google Académico, Scielo, Dialnet, entre otras, que ahondo sobre aspectos relevantes en cuanto a la temática tratada. Según Calle (2016), señala:

Es importante tomar en cuenta que la revisión de la literatura se maneja como un conjunto de técnicas que forman parte de la metodología de la investigación científica, y que no se limita a una recopilación desordenada de la información, es uno de los puntos de arranque para la elaboración de un artículo científico, libro, tesis, etc. (p. 3).

Según Zúñiga et., (2023), en su artículo metodología de la investigación: guía práctica, resalta:

Los Enfoques de la Investigación representan marcos teóricos y metodológicos que guían el proceso investigativo, otorgando dirección y coherencia a la búsqueda de respuestas a preguntas científicas. Estos enfoques, que pueden variar desde lo cuantitativo hasta lo

cuantitativo, o integrar ambas perspectivas, son herramientas fundamentales para el diseño y ejecución de investigaciones de alta calidad (p. 4).

## **Fase 1. Diagnóstico de la situación actual en el área de trefilado en la empresa Nexans Colombia**

Nexans Colombia planta Bucaramanga, ha fortalecido y enfocado sus objetivos en la consolidación de la gestión de la cadena de suministros o cadena de valor en sus etapas de abastecimiento, producción y distribución, lo cual la ha llevado a obtener resultados óptimos en cuanto a la satisfacción total de sus clientes y el aumento de la eficiencia en todas sus operaciones.

Dentro de su proceso productivo, la planta de Bucaramanga cuenta con 4 procesos importantes de operación en la fabricación de conductores eléctricos, su proceso inicial y considerado como uno de los más importantes y a su vez críticos es el de trefilado. Recibida la materia prima (alambrón de cobre), orden de producción y otros, se inicia el proceso de trefilado Primario o grueso el cual consiste en reducir un diámetro de un alambre de cobre inicial (8 mm) en un alambre o hilo de cobre de diámetro menor según requerimiento de fabricación. Ya trefilado el alambre, este pasara a los demás procesos (trefilado fino, buncheado, cableado y Extrusión) como materia prima para estos.

Uno de los factores críticos en el área de trefilado (trefilado grueso y fino), es la rotura de los hilos de cobre en este proceso, lo cual genera pérdidas de tiempo y disminución de la productividad en estas máquinas por las actividades que se deben realizar para poner nuevamente en marcha dichos procesos y dar continuidad al trefilado de cobre.

Dichas roturas de alambres o hilos de cobre no solo afectan el proceso de trefilación, sino que también genera deficiencias en los siguientes procesos ocasionando atrasos en la producción y generando costos de no calidad por estas fallas.

Partiendo de esta situación en el área de trefilado, esta investigación inicia de la mínima o nula información que hay sobre estos fallos en Nexans Colombia. Para ello se hace un trabajo de observación y registro, documentando de una serie de hallazgos encontrados en las diferentes actividades estandarizadas realizadas en esta área, permitiendo identificar algunas causas que de una u otra forma influyen y afectan este proceso aumentando las probabilidades de roturas de hilos de cobre, tanto en el desarrollo de los procesos operativos por parte de los operadores como en el funcionamiento de las mismas máquinas (trefiladoras y equipos auxiliares) que intervienen y conforman dicho proceso y con ello la minimización de ocurrencia de roturas de hilos de cobre durante este proceso.

Las herramientas de estandarización implementadas en el área de trefilado como los Standard Work Instruction (SWI), las Lecciones de un Punto (OPL) y los Procedimientos Operativos Estándar (SOP), son herramientas visuales y gráficas de comunicación que se emplean para transmitir conocimientos, donde se describen el paso a paso de todas las actividades realizadas, como se deben ejecutar, permitiendo que el proceso estandarizado se convierta en una tarea simple, fácil de realizar, segura y repetible: “Estandarizando la planta de producción, se tendrán mejores resultados en todos los aspectos, logrando mitigar el procedimiento subjetivo de los operarios que conlleva a realizar procedimientos de diversas maneras y así aumentar tiempos, elevar las cifras de desperdicio y demás” (Ruiz, 2020, p. 20).

El área de trefilado tiene aproximadamente 35 procesos documentados entre manuales, lecciones de un punto y Standard Work Instruction, enfocados a la mejora continua de este proceso. En la tabla 10, se presentan los estándares que repercuten con mayor incidencia en un óptimo desempeño del proceso de trefilación en lo que incide con la minimización de los fallos

por roturas, sus códigos y la frecuencia de realización efectuada por el personal operativo de esta área. Según Fuentes et al., (2020), citado por Gamarra (2022), afirma que:

La estandarización de procesos se relaciona al hecho de lograr realizar de manera satisfactoria una actividad específica, determinada a través de una forma organizada y controlada de trabajar, a su vez hace posible lograr un orden interno estricto que permite a la empresa ser competitiva (p. 12).

**Tabla 10***Estandarización de procesos en el área de trefilado*

Estandarización de Procesos en el Área de Trefilado						
Herramienta	Código	Descripción	Cumplimiento			Observaciones
			Si	Reg	No	
SWI	F-MC-009	Limpieza tanque de emulsión trefiladora 1		X		Aunque hay un SWI para la limpieza de los tanques de emulsión en el área de trefilado, no hay un cronograma de limpieza de estos, luego la limpieza se programa ya cuando estos tanques están saturados de residuo de cobre generando problemas en el proceso de trefilación..
		Limpieza tanque de emulsión trefiladora 6		X		
		Limpieza tanque de emulsión trefiladora 7		X		
OPL	F-MC-010 OPL-C # 389	Limpieza del horno trefiladora 1		X		Aunque hay una OPL de limpieza de hornos de recocido de cada trefiladora estipulada para realizarse cada día sábado en turno 2 de 2 horas, esta limpieza no se está realizando, no hay un procedimiento que permita auditar y verificar el cumplimiento de esta limpieza.
	F-MC-010 OPL-C # 390	Limpieza del horno trefiladora 6		X		
	F-MC-010 OPL-C # 391	Limpieza del horno trefiladora 7		X		
OPL	F-MC-010 OPL-C # 004	Parámetros de trabajo de la emulsión de trefilado			X	Aunque hay un formato de registro y control por máquina respecto a los parámetros de las emulsiones a verificar no se realizan las mediciones y controles a la emulsión del área de trefilado por el personal operativo.
OPL	F-MC-010 OPL-C # 291	Estandar de limpieza de hileras de salida de desbastadora TRE006 y TRE007		X		La OPL programa entre 1 a 2 limpiezas de hileras de salida de las desbastadoras por turno en cada máquina, se evidencia en turnos donde no se realiza ninguna limpieza.
		Manual para la realización del CHECK LIST - Mantenimiento de primer nivel línea de producción - área de trefilado.			X	No se realiza verificación del Check list de mantenimiento de primer nivel en el área de trefilado por parte del personal operativo de trefilado.
Herramienta:		SWI: Standard Work Instruction		OPL: Lección de un Punto		

*Nota.* Herramientas de estandarización utilizadas en el área de trefilado. *Fuente.* Autoría Propia.

A continuación, se presentan una serie de hallazgos de fallas, problemas y malas prácticas registradas en el área de trefilado y que con un trabajo adecuado y una buena

planificación se pueden transformar en oportunidades de mejora que permitan al área de trefilado de Nexans Colombia aumentar la eficiencia y calidad de su proceso en las diferentes trefiladoras, disminuyendo los costos y fallos asociados en la trefilación de hilos de cobre.

Falta de cronograma y estandarización de limpieza de desbastadora y flautas de lubricación de los anillos de la en la TRE001. Esta limpieza se debería ejecutar cada vez que se efectuó un mantenimiento preventivo a la máquina, actualmente esta limpieza se está realizando a criterio del operador y/o coordinador de producción y se efectúa cuando las máquinas ya están presentando problema por la alta acumulación de residuo de cobre como se evidencia en la siguiente figura.

### **Figura 9**

*Sedimentación de polvillo de cobre en desbastadora trefiladora primaria*



*Fuente.* Autoría Propia.

En la anterior figura, se puede observar la cantidad de residuo y sedimento de cobre generado durante el proceso de trefilación en las desbastadoras de las máquinas de trefilación, lo cual contribuye a que la emulsión se contamine con estos residuos (se sature) y no cumpla

óptimamente sus funciones de refrigeración, lubricación y detergencia en el proceso de desbaste del alambre de cobre.

Aunque se evidencia un Standard Work Instruction (SWI) en la limpieza de los tanques principales de emulsión, código F-MC-009, no hay un cronograma estandarizado de limpieza que indique la periodicidad (fecha de programación) de las siguientes rutinas de limpieza, la limpieza de tanques actualmente se realiza con los mismos criterios de punto anterior efectuándose cuando las máquinas ya están presentando problema por la acumulación de residuo o sedimento de cobre. Esta limpieza se realiza en promedio dos (2) veces al año, pero sin fecha definida.

Falta de registro de identificación de cada tanque principal de emulsión de las trefiladoras que contenga: Medidas del tanque, capacidad en litros por tanque, nivel óptimo de volumen de emulsión, nivel mínimo de volumen de emulsión, clase de emulsión, porcentaje graso, etc.

Falta de instrumento para medir el nivel de emulsión en los tanques primarios de las trefiladoras, actualmente en la TRE001 y TRE007 se hace la medición con una varilla adaptada para esta operación como se observa en la figura 10. En la TRE006 la verificación del nivel del tanque se realiza de forma visual.

**Figura 10**

*Medición de niveles de emulsión en los tanques primarios de las trefiladoras de cobre*



*Fuente. Autoría Propia.*

En la figura anterior, se puede observar el sistema de forma manual utilizado para realizar las mediciones de nivel de emulsión en los tanques primarios de las máquinas trefiladoras, una operación poco convencional debido a la falta de un equipo de medición de nivel adecuado (vara métrica de medición).

Mal funcionamiento de los filtros Resy de los tanques de emulsión primarios. Actualmente esta operación se realiza de forma manual mediante la ayuda de una vara para accionarlos como se observa en la figura 11, (la circulación de estos filtros Resy pueden durar varias semanas por falta de control de parte del operario de la máquina). Aunque hay una rutina de circulación de los filtros Resy plasmada en el formato de toma de datos de la emulsión y que es diaria, no hay una OPL de control y verificación respecto al correcto funcionamiento y uso de los filtros, su corte y disposición final en los desechos peligrosos, acciones que deberían ser ejecutadas por los operadores del área.

## Figura 11

*Accionamiento manual de los filtros Resy en TRE001 Y TRE006*



*Fuente.* Autoría Propia.

En la figura anterior, se observa la manipulación manual de circulación de los filtros RESY de los tanques principales de las máquinas trefiladoras, debido al mal funcionamiento de los sensores y flotadores que realizan esta operación automáticamente. La falta de circulación continua de los filtros RESY generan que los residuos de cobre se acumulen y no se contengan en la tela filtro, sino que pasen al tanque principal y se mezclen con la emulsión contaminándola y con ello minimizando el efecto de lubricante y refrigerante lo cual puede generar sedimentación en las hileras y mayores temperaturas de trabajo, originando fallas o roturas en los hilos de cobre.

No hay un instrumento óptimo para medición del PH y conductividad de la emulsión. Para ello se utiliza las tiras de medición de PH.

**Observación:** Las tiras de medición del PH permite obtener resultados muy rápidos en una solución, pero no son precisas, la variación del color se puede presentar por incidencia propia de la luz, percepción óptica de quien realiza la prueba y en algunos casos por envejecimiento de estas tiras. La medición del PH en la emulsión de las trefiladoras se encuentra entre el 8,5 y 9,5 por lo cual el rango es muy minino y se puede presentar siempre el mismo resultado.

Se evidencia la falta de control por parte del personal operativo en el conocimiento de las mediciones de la emulsión en sus respectivas máquinas, la falta de medición de los niveles de emulsión en los tanques principales ha generado fallos del proceso por roturas en los hilos de cobre, ya que en oportunidades las máquinas se han quedado sin lubricación por la falta de control.

Se carece de una técnica o sistema de recolección de información de datos sobre las roturas generadas en cada trefiladora con la cual permita la toma de decisiones respecto al proceso y con ello la generación de planes de acción que generen la minimización de dichas fallas.

Falta de especificación de las causas reales por las cuales se presentan las paradas no programadas en SAP, por lo menos el 60 % de las paradas no programadas por fallo de procesos no especifican en sus observaciones la causa de dicha parada o fallo.

Alimentación para las trefiladoras multihilos (TRE006 y TRE007) con tramos duros e hilos enredados los cuales provienen de la trefiladora primaria (TRE001) como se observa en la figura 12, generando rupturas por enredos en la alimentación de estas trefiladoras.

**Figura 12**

*Problemas en la materia prima por hilos enredados y tramos duros*



*Fuente. Autoría Propia.*

Mala calidad en la materia prima del cobre estañado, la cual presenta material contaminado (poroso) y de aspecto oxidado en su embalaje (barricas) como se observa en la figura 13, generando roturas de hilos en su trefilado y mal aspecto en la superficie de los hilos del producto final fabricado en este proceso.

### Figura 13

*Defectos de calidad en oxidación superficial de materias primas*



*Nota.* Barrica de cobre estañado, manchado y oxidado en su superficie. *Fuente.* Autoría propia.

En esta figura, se puede evidenciar los defectos por oxidación y manchado de la materia prima, lo cual genera efectos negativos a la superficie de los hilos y problemas al trefilado como la rotura de hilos y alta sedimentación de residuo de cobre estañado en la emulsión, dados y sistema de refrigeración de las trefiladoras.

Desgaste acelerado en las cintas de recocido del horno en la TRE001 y TRE006, siendo esta última la más crítica como se evidencia en la figura 14. Este desgaste acelerado se evidencia en una corta vida útil de las cintas mínima, lo que su vez genera temperaturas altas en las cintas de recocido y chisporroteo al contacto con el paso del cobre lo que ocasiona roturas de los alambres en parada lineal o después de estar detenida la máquina.

## Figura 14

*Ranura por desgaste de cintas recocedoras, horno de recocido TRE006 y TRE001*



*Nota.* Desgaste de cintas de recocido de los hornos de recocido. *Fuente.* Autoría propia.

Los canales o ranuras observadas en la figura anterior en la superficie de las cintas de recocido se deben a varios aspectos a estudiar, estas ranuras al paso del hilo de cobre generan arcos de voltaje que desprende chispas de forma repetida en la cinta recocedora generando daños y sobre temperatura en estas que a la postre incidirá en la superficie del alambre y en la ocurrencia de su rotura.

Se evidencia la falta de limpieza y organización de las hileras de trefilar, las cuales se dejan sucias una vez terminada la orden de producción y en ese estado se vuelven a emplear en las próximas corridas (figura 15). La falta de limpieza en las hileras genera acumulación de residuos de cobre que pueden generar daños a la superficie de los alambres al momento de su desbastado, ocasionando rayado en la superficie del alambre o causando incrustaciones que generaran daños en el alambre, a las mismas hileras y a los cabrestantes de la desbastadora, lo

cual contribuye a ocasionar roturas en los hilos, además de disminuir la vida útil de trabajo de estas.

### **Figura 15**

*Estado de dados e hileras de trefilar después de su uso en el proceso de trefilado*



*Nota.* Suciedad, falta de limpieza y almacenaje de dados e hileras en el área de trefilado después de su uso en cada orden de producción. *Fuente.* Autoría Propia.

### **Otros hallazgos de cuidado**

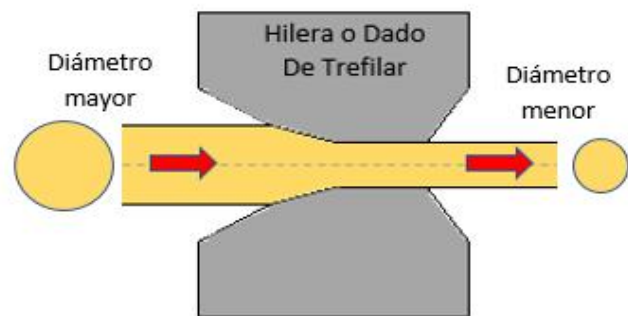
#### ***Dados o hileras de trefilación***

Las hileras o dados de trefilación son piezas o herramientas en muchas de sus aplicaciones de forma circular, contiene un orificio central recubierto de un material altamente resistente cuya función es reducir el diámetro o área transversa de un alambre de forma gradual hasta obtener un diámetro requerido. Según ESTEVES GROUP, (2025), fabricante de dados y accesorios para el trefilado de alambres de cobre, afirma:

Dentro de la alta gama de hileras, encontramos las hileras SSCD (diamante monocristalino sintético), hileras ND (diamante natural), hileras PCD (diamante policristalino) que poseen una alta resistencia al desgaste y una óptima calidad a la superficie del alambre trefilado y las hileras de carburo de tungsteno, un material resistente, pero de menor eficiencia en el trefilado de alambres sobre todo a altas velocidades (s.f.).

### Figura 16

#### *Hileras de trefilación*



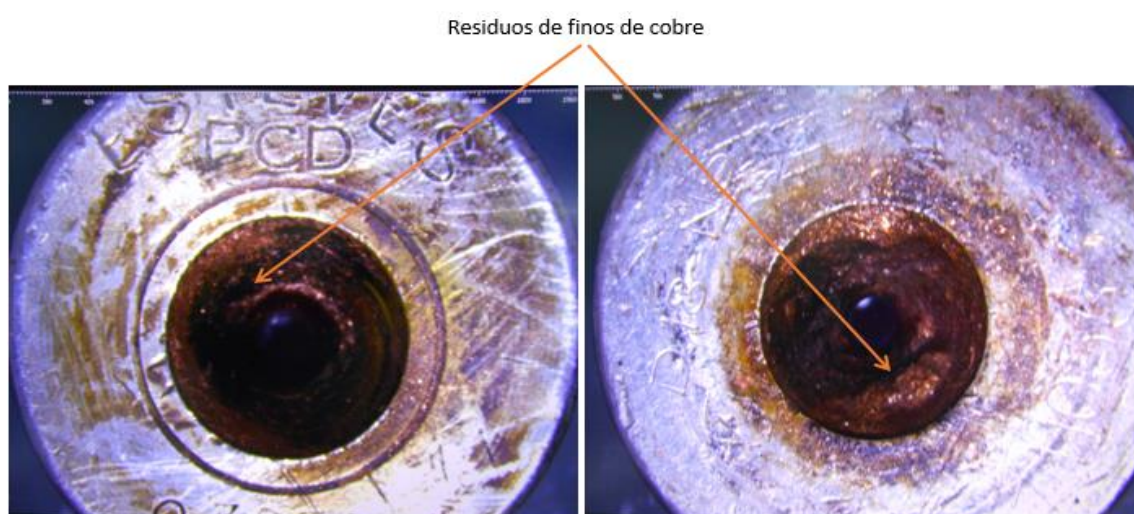
*Nota.* En la figura anterior, se observa la reducción de área del alambre que se presenta al paso por la hilera y los tamaños de hileras manejados en el área de trefilado, fabricadas en diamante policristalino PCD, proveedor ESTEVES GROUP. *Fuente.* Autoría Propia.

Es importante resaltar en este estudio la importancia de las hileras o dados en este proceso y que uno de los factores que acelera su desgaste y la ocurrencia de daños es la falta de una buena lubricación en estas. “Algo muy importante para tener en cuenta es que los dados de trefilado presentan costos elevados de fabricación, donde su desgaste juega un papel muy importante en la producción, de aquí la necesidad del uso de lubricación durante todo el proceso” (Monar, 2023, p. 5).

La falta de una lubricación adecuada, puede dejar en los dados residuos de finos de cobre o polvillo que con el tiempo se irán compactando hasta formas carchas o costras que posteriormente incidirán en el acabado superficial de alambre y generara sobre temperaturas de trabajo en la hilera por fricción lo que puede llevar a una falla o rotura del alambre en este proceso.

### Figura 17

*Residuos de finos en dados o hileras de trefilación*



*Nota.* En la figura anterior, se observa una hilera de trefilación con residuos de finos de cobre debido a una deficiente lubricación y detergencia. *Fuente.* Autoría Propia.

Dados los altos costos de compra y de rectificado de hileras y dados de trefilar, se hace necesario implementar en Nexans Colombia un formato de control de hileras en el área de trefilado, de tal manera que permita llevar los datos y hoja de vida de cada hilera, conocer su estado real, su tiempo de uso y trabajo, los periodos de calibración y ajuste, fechas de limpieza entre otros, optimizando su vida útil y a su vez disminuyendo los costos por daños en estas y optimizando el proceso de trefilación. El Apéndice D, presenta el diseño de un formato de control u hoja de vida de las hileras de trefilación para implementar en el área de trefilado, con el

objetivo de llevar un control de los datos de trefilación que permitan la utilización de dados o hileras en buenas condiciones y optimicen su vida útil de trabajo.

### ***Cabrestantes o anillos de trefilación***

Los cabrestantes también llamados poleas, caracoles o anillos de tiro según el tipo de trefiladora, son los encargados de ejercer la fuerza de arrastre o tiro para que el alambre pase por la hilera y realice su reducción de área, están fabricados con un recubrimiento de diferentes materiales como por ejemplo carburo de tungsteno (TRE001) y pistas en cerámica (TRE006 y TRE007).

La importancia de una muy buena lubricación tanto en calidad como en caudal no solo en los dados de trefilación sino en los cabrestantes junto a un correcto deslizamiento y número de vueltas del hilo de cobre en las poleas de tiro contribuirá a un óptimo desempeño de estos y un alargamiento de su vida útil.

Una deficiente lubricación en los anillos de tiro acelerará de forma prematura el desgaste y deterioro de estos, ocasionando ranuras y en algunos casos fracturas del material con el que están fabricados estos, aumentando la fricción entre este y el alambre lo que repercutirá en daños superficiales en el alambre de cobre, desalineamiento, hilos montados en las poleas que ocasionarán a la postre roturas del alambre. En la figura 18, se observa algunos daños generados en los cabrestantes como las ranuras y las fracturas en su recubrimiento.

Uno de los tipos de roturas que se analizarán más adelante en este estudio son las generadas por inclusiones de materiales en la superficie del alambre en el proceso de desbaste en el trefilado, un anillo o cabrestante fracturado como se aprecia en la siguiente figura, es una fuente generadora de partículas metálicas que se incrustarán al paso del alambre de cobre

generando fracturas por inclusiones presentes o no presente ya sea en este proceso o en el siguiente.

### **Figura 18**

*Fallas presentadas en los cabrestantes de trefilación*



*Fuente. Autoría Propia.*

## Fase 2. Toma, registro y control de datos de las principales variables de estudio que inciden en las paradas no programadas por roturas de hilos de cobre en el área de trefilado

El desarrollo de esta Segunda fase, se inicia con la toma, registro y control de datos de las variables de estudio, para ello, se realiza la toma y registro de datos mes a mes de las roturas de hilos de cobre en el área de trefilado y la toma y registro de datos de la emulsión (lubricación) de cada una de las trefiladoras de cobre en el área.

### Muestreo y recolección de datos de roturas de hilos de cobre en el área de trefilado

En esta primera etapa de muestreo, se registraron 524 datos sobre roturas de hilos de cobre en el área de trefilado, de los cuales 333 datos se registraron en el formato de control de reventones código F-PR-099, con muestra física y registro fotográfico.

### Figura 19

*Formato de recolección de datos y muestras de roturas de hilos de cobre*

CENTRAL Aluminio		CONTROL DE REVENTONES		CÓDIGO: F-PR-099	
MUESTRA FÍSICA				VERSIÓN:00	
FECHA Julio 25/24		MÁQUINA TE001			
OPERADOR Edison murela		TURNO 02			
MATERIAL Cobre		DIÁMETRO DEL ALAMBRE 1.98			
LUGAR DEL REVENTON debobadora					
PROVEEDOR Indisco					
COTE DE ALAMBRO Chipa de cobre					
VELOCIDAD LÍNEA 18 m/s					
CAMBIO BOBINA		SI <input type="checkbox"/>		NO <input checked="" type="checkbox"/>	
OBSERVACIONES Reventon por fallo de soldadura de alambro.					

Fuente. Autoría Propia.

En la figura anterior, se puede observar el registro de datos de roturas de hilos de cobre en el formato de control de reventones, esta información se consolida en un archivo de Excel denominado Control de rupturas de hilos de cobre en el área de trefilado 2024, con información como fecha de la rotura, máquina, operario, turno, material, proveedor, lugar de la rotura, diámetro del alambre, velocidad de la línea, tiempo de la rotura, observaciones, fotografías entre otros datos. Por otra parte, estos registros en físico se almacenan y guardan en un álbum con el fin de empezar a llevar un histórico sobre estas fallas.

A continuación, se presenta el número de roturas mes a mes, (febrero a octubre de 2024), donde se relaciona el número de roturas de hilos de cobre por máquina, las posibles causas identificadas y el porcentaje de fallos por causa respecto al área de trefilado.

Además, de acuerdo al volumen de cobre trefilado mensualmente por maquina y a su estándar de fabricación o trefilado por turno (8 horas), se calcula las toneladas de cobre trefiladas por rotura, dato que nos permitirá ir ajustando a niveles óptimos el número de roturas que deben presentarse en cada trefiladora con el tiempo.

**Tabla 11**

*Roturas de hilos de cobre – Área de trefilado febrero de 2024*

Causas	Febrero 2024			Fallos por Causa	% Fallos Área de Trefilado
	TRE001	TRE006	TRE007		
Sin determinar	6	16	8	30	44,78
Cobre poroso	1	9	4	14	20,90
Fallo lubricación desbastadora	1	1	0	2	2,99
Fallo máquina	2	1	0	3	4,48
Fallo suministro eléctrico	1	4	3	8	11,94
Materia prima enredada	1	1	3	5	7,46
fallo soldadura materia prima	3	2	0	5	7,46
<b>Total, fallos x máquina</b>	<b>15</b>	<b>34</b>	<b>18</b>		

Causas	Febrero 2024			Fallos por Causa	% Fallos Área de Trefilado
	Numero de Roturas				
	TRE001	TRE006	TRE007		
<b>Total, fallos área de trefilado</b>				<b>67</b>	<b>100</b>
Toneladas trefiladas mes máquina	210,998	54,515	152,397	417,91	
Toneladas estándar turno (8 Horas) máquina	12	3	8		
Toneladas por rotura	14,067	1,603	8,467		

*Fuente.* Autoría Propia.

Esta tabla muestra el total de fallas por roturas de hilos de cobre durante el mes de febrero de 2024, relacionando los fallos por máquina y su respectiva causa. Se evidencia que la mayor causa de roturas se encuentra sin determinar con un 44,78 %. Además, se muestra el número de fallos por roturas de hilos de cobre, siendo la TRE006 la máquina que más genero fallos en el mes de febrero (50,74 %) en el área.

## Tabla 12

*Roturas de hilos de cobre – Área de trefilado marzo de 2024*

Causas	Marzo 2024			Fallos por Causa	% Fallos Área de Trefilado
	Número de Roturas				
	TRE001	TRE006	TRE007		
Sin determinar	0	5	2	7	20,00
Cobre poroso	0	7	2	9	25,71
Fallo lubricación desbastadora	2	2	3	7	20,00
Fallo máquina	0	0	0	0	0,00
Fallo suministro eléctrico	3	1	5	9	25,71
Materia prima enredada	0	2	0	2	5,71
fallo soldadura materia prima	1	0	0	1	2,86
<b>Total, fallos x máquina</b>	<b>6</b>	<b>17</b>	<b>12</b>		100,00
<b>Total, fallos área de trefilado</b>				<b>35</b>	<b>100</b>
Toneladas trefiladas mes máquina	286,152	42,842	172,984	501,978	

Causas	Marzo 2024			Fallos por Causa	% Fallos Área de Trefilado
	Número de Roturas				
	TRE001	TRE006	TRE007		
Toneladas estándar turno (8 Horas) máquina	12	3	8		
Toneladas por rotura	47,692	2,520	14,415		

*Fuente.* Autoría Propia.

Esta tabla muestra el total de fallas por roturas de hilos de cobre durante el mes de marzo de 2024, relacionando los fallos por máquina y su respectiva causa. Se evidencia que la mayor causa de roturas se encuentra entre problemas de materia prima (cobre poroso) y fallos por suministro de energía eléctrica, ambas causas con un 25,71%. Además, se muestra el número de fallos por roturas de hilos de cobre por máquina, siendo la TRE006 la máquina que más genero fallos en el mes de marzo (48,57 %) del total de fallos en el área.

**Tabla 13**

*Roturas de hilos de cobre – Área de trefilado abril de 2024*

Causas	Abril 2024			Fallos por Causa	% Fallos Área de Trefilado
	Número de Roturas				
	TRE001	TRE006	TRE007		
Sin determinar	0	11	6	17	38,64
Cobre poroso	0	4	5	9	20,45
Fallo lubricación desbastadora	0	6	0	6	13,64
Fallo máquina	1	0	0	1	2,27
Fallo suministro eléctrico	0	0	0	0	0,00
Materia prima enredada	0	1	2	3	6,82
Falla operativa	0	0	2	2	4,55
fallo soldadura materia prima	6	0	0	6	13,64
<b>Total, fallos x máquina</b>	<b>7</b>	<b>22</b>	<b>15</b>		100,00
<b>Total, fallos área de trefilado</b>				<b>44</b>	<b>100</b>
Toneladas trefiladas mes máquina	360,225	68,177	274,277	702,679	

Causas	Abril 2024			Fallos por Causa	% Fallos Área de Trefilado
	Número de Roturas				
	TRE001	TRE006	TRE007		
Toneladas estándar turno (8 Horas) máquina	12	3	8	702,679	
Toneladas por rotura	51,461	3,099	18,285		

*Fuente. Autoría Propia.*

Esta tabla muestra el total de fallas por roturas de hilos de cobre durante el mes de abril de 2024, relacionando los fallos por máquina y su respectiva causa. Se evidencia que la mayor causa de roturas se encuentra sin identificar con un 38,64 % y la segunda causa por problemas en la materia prima (cobre poroso) con un 20,45 %. Además, se muestra el número de fallos por roturas de hilos de cobre, siendo la TRE006 la máquina que más genero fallos en el mes de abril (50 %) del total del área.

#### **Tabla 14**

*Roturas de hilos de cobre – Área de trefilado mayo de 2024*

Causas	Mayo 2024			Fallos x Causa	% Fallos Área de Trefilado
	Número de Roturas				
	TRE001	TRE006	TRE007		
Sin determinar	0	14	5	19	36,54
Cobre poroso	0	13	3	16	30,77
Fallo lubricación desbastadora	3	0	0	3	5,77
Fallo máquina	0	3	2	5	9,62
Fallo suministro eléctrico	0	0	0	0	0,00
Materia prima enredada	0	5	0	5	9,62
Falla operativa	0	0	1	0	1,92
fallo soldadura materia prima	3	0	0	3	5,77
<b>Total, fallos x máquina</b>	<b>6</b>	<b>35</b>	<b>11</b>		100,00
<b>Total, fallos área de trefilado</b>				<b>52</b>	<b>100</b>
Toneladas trefiladas mes máquina	295,329	93,576	238,981	627,886	

Causas	Mayo 2024 Número de Roturas			Fallos x Causa	% Fallos Área de Trefilado
	TRE001	TRE006	TRE007		
Toneladas estándar turno (8 Horas) máquina	12	3	8	627,886	
Toneladas por rotura	49,222	2,674	21,726		

*Fuente.* Autoría Propia.

Esta tabla muestra el total de fallas por rupturas de hilos de cobre durante el mes de mayo de 2024, relacionando los fallos por máquina y su respectiva causa. Se evidencia que la mayor causa de roturas se encuentra sin identificar con un 36,54 % y la segunda causa por problemas en la materia prima (cobre poroso) con un 30,77 %. Además, se muestra el número de fallos por roturas de hilos de cobre en cada máquina, siendo la TRE006 la máquina que más genero fallos en el mes de mayo (67,3 %) del total de fallos en el área.

**Tabla 15**

*Roturas de hilos de cobre – Área de trefilado junio de 2024*

Causas	Junio 2024 Número de Roturas			Fallos x Causa	% Fallos Área de Trefilado
	TRE001	TRE006	TRE007		
Sin determinar	0	4	0	4	14,29
Cobre poroso	0	6	0	6	21,43
Fallo lubricación desbastadora	0	0	0	0	0,00
Fallo máquina	1	0	0	1	3,57
Fallo suministro eléctrico	0	0	0	0	0,00
Materia prima enredada	0	14	0	14	50,00
Falla operativa	0	0	0	0	0,00
fallo soldadura materia prima	2	1	0	3	10,71
<b>Total, fallos x máquina</b>	<b>3</b>	<b>25</b>	<b>0</b>		100,00
<b>Total, fallos área de trefilado</b>				<b>28</b>	<b>100</b>
Toneladas trefiladas mes máquina	172,453	63,089	73,122	308,664	

Causas	Junio 2024			Fallos x Causa	% Fallos Área de Trefilado
	Número de Roturas				
	TRE001	TRE006	TRE007		
Toneladas estándar turno (8 Horas) máquina	12	3	8		
Toneladas por rotura	57,484	2,524	-----		

*Fuente.* Autoría Propia.

Esta tabla muestra el total de fallas por rupturas de hilos de cobre durante el mes de junio de 2024, relacionando los fallos por máquina y su respectiva causa. Se evidencia que la mayor causa de roturas se encuentra por problemas de materia prima (enredos) con un 50 %.

Además, se muestra el número de fallos por rupturas de hilos de cobre por máquina, siendo la TRE006 la máquina que más genero fallos en el mes de junio (89,28 %) del total de fallos en el área.

**Tabla 16**

*Roturas de hilos de cobre – Área de trefilado julio de 2024*

Causas	Julio 2024			Total x Causa	% Fallos Área de Trefilado
	Número de Roturas				
	TRE001	TRE006	TRE007		
Sin determinar	1	14	1	16	9,94
Cobre poroso	0	93	3	96	59,63
Fallo lubricación desbastadora	0	2	0	2	1,24
Fallo máquina	0	0	0	0	0,00
Fallo suministro eléctrico	0	1	1	2	1,24
Materia prima enredada	1	15	21	37	22,98
Falla operativa	1	1	0	2	1,24
fallo soldadura materia prima	6	0	0	6	3,73
<b>Total, fallos x máquina</b>	<b>9</b>	<b>126</b>	<b>26</b>		100,00
<b>Total, fallos área de trefilado</b>				<b>161</b>	<b>100</b>
Toneladas trefiladas mes máquina	178,051	73,433	124,717	376,201	

Causas	Julio 2024			Total x Causa	% Fallos Área de Trefilado
	Número de Roturas				
	TRE001	TRE006	TRE007		
Toneladas estándar turno (8 Horas) máquina	12	3	8		
Toneladas por rotura	19,783	0,583	4,796		

*Fuente.* Autoría Propia.

Esta tabla muestra el total de fallas por roturas de hilos de cobre durante el mes de julio de 2024, relacionando los fallos por máquina y su respectiva causa. Se evidencia que la mayor causa de roturas se encuentra por problemas de materia prima (porosidad) con un 59,63 % y la segunda causa por enredos en la materia prima con un 22,98 %. Además, se muestra el número de fallos por roturas de hilos de cobre por máquina, siendo la TRE006 la máquina que más genero fallos en el mes de julio (78,26 %).

**Tabla 17***Roturas de hilos de cobre – Área de trefilado, septiembre de 2024*

Causas	Septiembre 2024 Número de Roturas			Total x Causa	% Fallos Área de Trefilado
	TRE001	TRE006	TRE007		
Sin determinar	0	31	8	39	46,43
Cobre poroso	0	26	11	37	44,05
Fallo lubricación desbastadora	0	0	0	0	0,00
Fallo máquina	0	3	1	4	4,76
Fallo suministro eléctrico	0	1	0	1	1,19
Materia prima enredada	0	1	0	1	1,19
Falla operativa	0	0	0	0	0,00
fallo soldadura materia prima	2	0	0	2	2,38
<b>Total, fallos x máquina</b>	<b>2</b>	<b>62</b>	<b>20</b>		100,00
<b>Total, fallos área de trefilado</b>				<b>84</b>	100,00
Toneladas trefiladas mes máquina	242,868	136,729	52,858	432,455	
Toneladas estándar turno (8 Horas) máquina	12	3	8		
Toneladas por rotura	121,434	2,205	2,643		

*Fuente. Autoría propia.*

Esta tabla muestra el total de fallas por roturas de hilos de cobre durante el mes de septiembre de 2024, relacionando los fallos por máquina y su respectiva causa. Se evidencia que la mayor causa de roturas se encuentra sin determinar con un 46,43 % y la segunda causa por porosidad en la materia prima con un 44,05 %. Además, se muestra el número de fallos por roturas de hilos de cobre, siendo la TRE006 la máquina que más genero fallos en el mes de septiembre (73,8 %).

**Tabla 18***Roturas de hilos de cobre – Área de trefilado, octubre de 2024*

Causas	Octubre 2024 Número de Roturas			Total x Causa	% Fallos Área de Trefilado
	TRE001	RE006	TRE007		
Sin determinar	0	20	3	23	43,40
Cobre poroso	0	14	0	14	26,42
Fallo lubricación desbastadora	0	0	0	0	0,00
Fallo máquina	4	2	1	7	13,21
Fallo suministro eléctrico	1	0	0	1	1,89
Materia prima enredada	0	2	2	4	7,55
Falla operativa	0	0	2	2	3,77
fallo soldadura materia prima	2	0	0	2	3,77
<b>Total, fallos x máquina</b>	<b>7</b>	<b>38</b>	<b>8</b>		100,00
<b>Total, fallos área de trefilado</b>				<b>53</b>	<b>100</b>
Toneladas trefiladas mes máquina	414	122,936	135,968	672,894	
Toneladas estándar turno (8 Horas) máquina	12	3	8		
Toneladas por rotura	59,143	3,235	16,996		

*Fuente. Autoría Propia.*

Esta tabla muestra el total de fallas por rupturas de hilos de cobre durante el mes de octubre de 2024, relacionando los fallos por máquina y su respectiva causa. Se evidencia que la mayor causa de roturas se encuentra sin determinar con un 43,40 % y la segunda causa por porosidad en la materia prima con un 26,42 %. Además, se muestra el número de fallos por roturas de hilos de cobre, siendo la TRE006 la máquina que más genero fallos en el mes de septiembre (71,69 %) del total del área.

## **Muestreo y recolección de datos de la emulsión en el área de trefilado**

Uno de los principales factores que influyen en la trefilación del cobre es la lubricación utilizada en el proceso de desbaste, esta lubricación es una emulsión a base de aceites sintéticos solubles en agua y que cumplen la función de enfriamiento, lubricación y limpieza o detergencia de las partes involucradas en el proceso de desbaste (hileras, anillos, alambre de cobre entre otros), contribuyendo a la durabilidad y vida útil de estos implementos.

Por ello, se hace necesario la implementación de estrategias que permitan controlar los diferentes parámetros de la emulsión y con ello su calidad, alargando su vida útil y optimizando su funcionamiento en el proceso de trefilado. Según Sepúlveda, 2023, señala que:

El control sobre la emulsión debe ser llevado con el fin de disminuir las fallas de proceso a la hora de trefilar el cobre, también garantizar que el material o producto cumpla especificaciones y sobre todo que en los siguientes procesos no vaya a generar problemas, esto, aumentara el tiempo productivo de la máquina y la disminución de costos o gastos (p. 30).

Los tipos de lubricantes para la trefilación de cobre utilizados en el área de trefilado son aceites que se diluyen en agua con un determinado porcentaje graso que depende de cada proceso de trefilación, sea fino, intermedio o primario, dando las propiedades y características óptimas para cada proceso cumpliendo con los parámetros de trabajo exigidos en cada una de las trefiladoras como se observa en la tabla 19.

**Tabla 19***Parámetros de trabajo de lubricantes en el área de trefilado*

	Parámetros emulsión área de trefilado		
	TRE001	TRE006	TRE007
Referencia	RA 400 CPD	UNOPOL U 570	RA 400 CPD
Fabricante	RICHARD APLEX	BECHEM LUBRICATION	RICHARD APLEX
Concentración grasa	9% - 11%	7% - 9%	7% - 9%
Temperatura	35 °c - 40 °c	35 °c - 40 °c	35 °c - 40 °c
PH	8,5 - 9,5	8,5 - 9,5	8,5 - 9,5
Conductividad	≤ 6000 μ s / cm	≤ 6000 μ s / cm	≤ 6000 μ s / cm
Bacterias	10 <sup>3</sup> μ organismos / ml	10 <sup>3</sup> μ organismos / ml	10 <sup>3</sup> μ organismos / ml

*Nota.* Adaptado del documento Lección de un Punto (OPL), parámetros de trabajo de la emulsión, OPL-C # 04. Código: F-MC-010. Área de ingeniería de procesos. Nexans Colombia.

Uno de los principales parámetros a estudiar en el control de las emulsiones en el trefilado de cobre es su porcentaje graso, la medición y correcta proporción de este permitirá obtener una película de lubricación óptima entre todos los componentes que interactúan en el desgaste del alambre de cobre. Además, de disminuir los costos de adquisición, ya que estos lubricantes son importados y sus precios por los general son altos, sin mencionar los tiempos de despacho. Según McGraw-Hill (2024):

La concentración expresa, cuantitativamente, la proporción de soluto en la disolución, esta expresada en porcentaje (partes de soluto en 100 partes de disolución total. Una de sus formas de expresión es Volumen / volumen, donde tanto el soluto, como el disolvente deben ser líquidos. Tomado de la página web McGraw-Hill, 2024. Soluciones Educativas Innovadoras. Disoluciones, diluciones y densidad, capítulo 9. (s.f.)

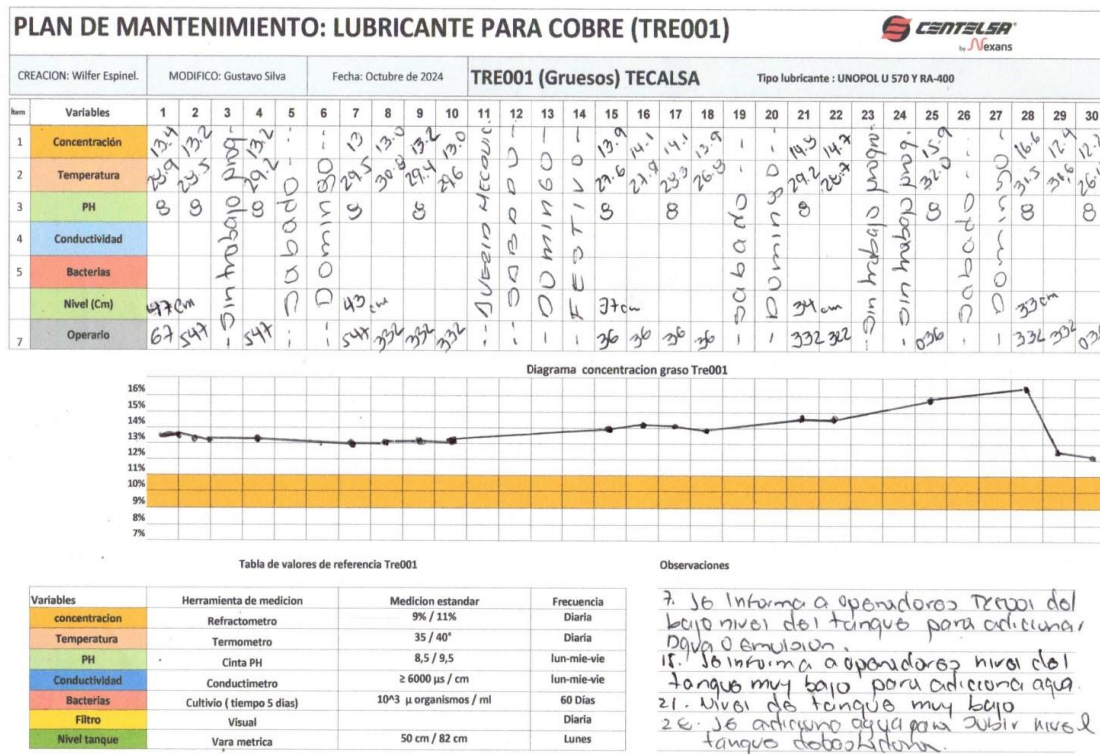
Un ejemplo de ello, es el porcentaje de concentración graso en la trefiladora de gruesos o primaria TRE001 cuyo valor se indica en la tabla 19 y debe estar entre el 9% y 11%, lo que

significa que, por cada 1000 litros de emulsión preparada, como punto o límite máximo deben mezclarse 110 litros de lubricante en 890 litros de agua y como punto o límite mínimo se deben mezclar 90 litros de lubricante entre 910 litros de agua.

En el desarrollo de esta fase de registro y control de los diferentes parámetros de la emulsión en el área de trefilado, Se tomaron 402 muestras en total, de las cuales 125 muestras se tomaron y registraron en la TRE001, 147 muestras en la TRE006 y 130 muestras en la TRE007 (Cada muestra tomada, registra como mínimo los datos de % de concentración graso, temperatura y PH de la emulsión según estándar de tabla de valor de referencia), como se evidencia en la figura 20.

Figura 20

Formato de control y registro de parámetro de la emulsión



Fuente. Autoría Propia.

Estos registros en físico del control de las emulsiones en el área de trefilado se registran en una base de datos (figura 21), cuya finalidad es la consolidación de un histórico que permita a la compañía en un futuro observar los diferentes comportamientos de la emulsión en las diferentes trefiladoras y poder desarrollar acciones que optimicen su desempeño y reduzcan sus costos en la mal utilización de esta.

**Figura 21**

*Registro base de datos de control de la emulsión*

Fecha	Maquina	Operador	Variable medida	Valor obtenido	Emulsion	OBSERVACIONES
1/03/2024	TRE001	36	Concentración graso	13,5	RA 400	
1/03/2024	TRE001	36	Temperatura	33,5	RA 400	
1/03/2024	TRE001	36	PH	9	RA 400	Se hace medicion del PH con cint
1/03/2024	TRE006	211	Concentración graso	14,5	UNOPOL U 570	Se adiciona agua por 35 minutos,
1/03/2024	TRE006	211	Temperatura	33,4	UNOPOL U 570	
1/03/2024	TRE006	211	PH	9	UNOPOL U 570	
1/03/2024	TRE007	75	Concentración graso	20	RA 400	
1/03/2024	TRE007	75	Temperatura	33,8	RA 400	
1/03/2024	TRE007	75	PH	9	RA 400	
4/03/2024	TRE001	444	Concentración graso	14	RA 400	
4/03/2024	TRE001	444	Temperatura	29,1	RA 400	
4/03/2024	TRE001	444	PH	9	RA 400	
4/03/2024	TRE006	211	Concentración graso	10	UNOPOL U 570	Se hace cambio de emulsion (em
4/03/2024	TRE006	211	Temperatura	29,9	UNOPOL U 570	
4/03/2024	TRE006	211	PH	8	UNOPOL U 570	
4/03/2024	TRE007	75	Concentración graso	20,1	RA 400	
4/03/2024	TRE007	75	Temperatura	29,9	RA 400	
4/03/2024	TRE007	75	PH	8	RA 400	

*Nota.* Base de datos emulsión área de trefilado. *Fuente.* Autoría Propia.

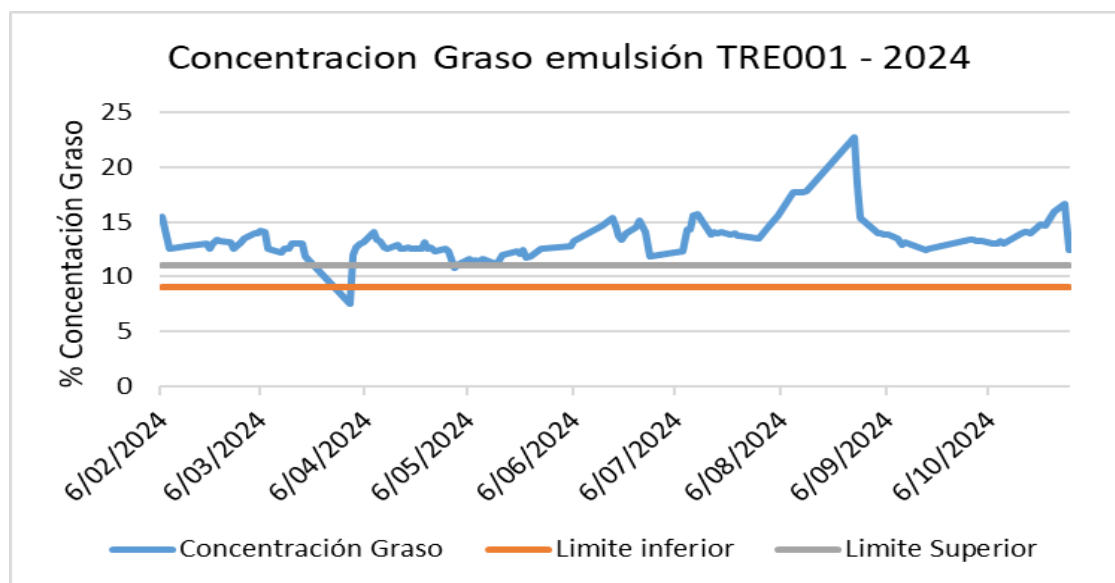
Es importante concluir que la emulsión en el proceso de trefilado desarrolla un papel fundamental en la obtención de un producto (hilo de cobre) con excelentes características de calidad, además, de mantener y prolongar la vida útil de las herramientas y equipos que interactúan en este proceso.

#### ***Registro grafico de concentración graso de la emulsión en el área de trefilado***

A continuación, se representa gráficamente el comportamiento del porcentaje o concentración graso y de temperatura de la emulsión en las diferentes trefiladoras de cobre en el periodo comprendido entre el mes de febrero y octubre en el área de trefilado.

**Figura 22**

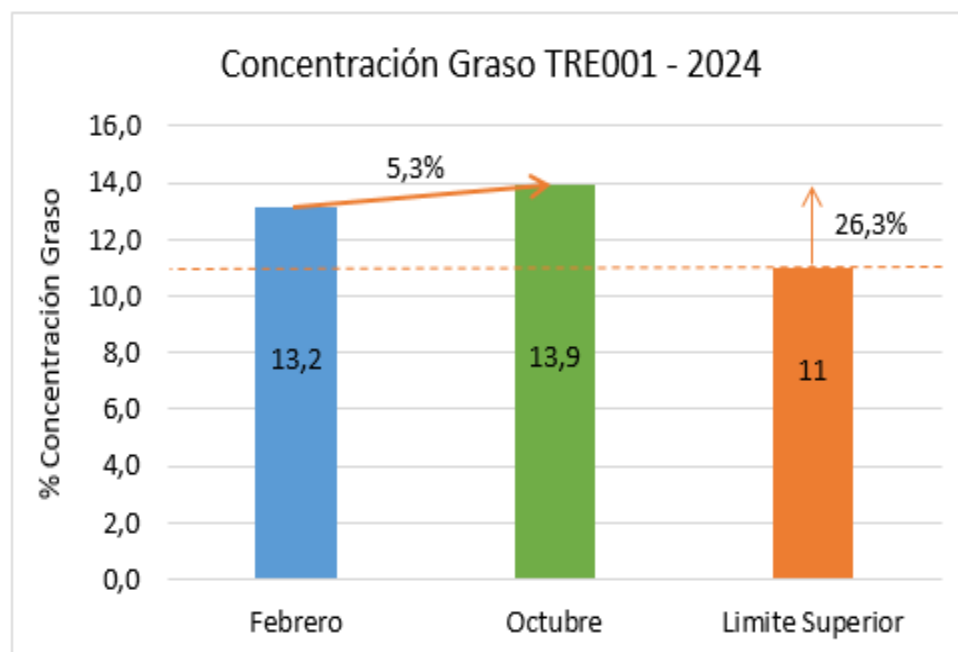
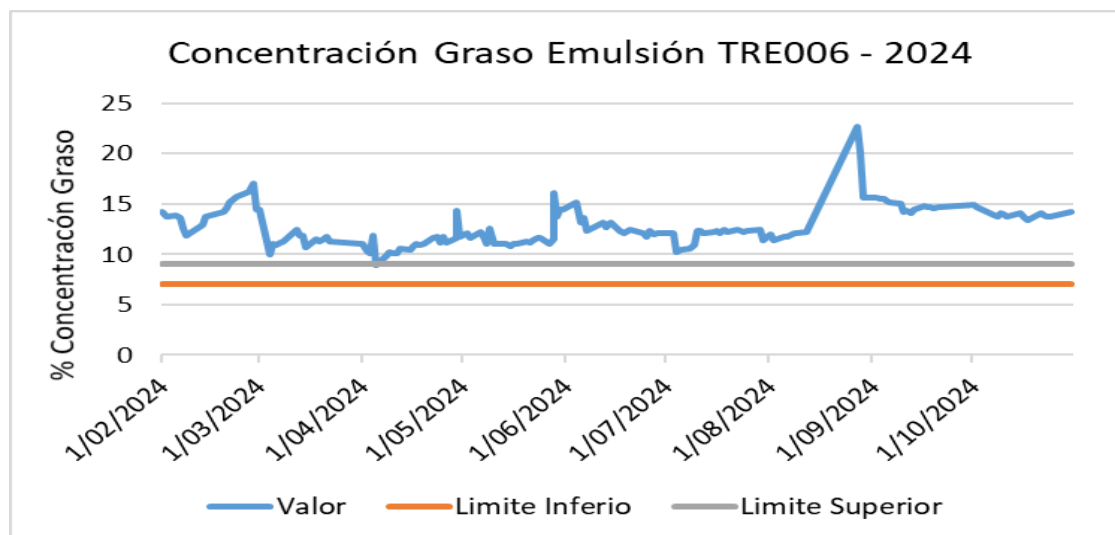
*Grafica concentración graso emulsión TRE001*



*Fuente.* Autoría propia.

En la figura anterior, se puede observar el comportamiento de la emulsión en la máquina trefiladora de gruesos desde el mes de febrero hasta el mes de octubre, evidenciándose que el porcentaje graso se encuentra en la gran mayoría de su registro por encima del límite superior estandarizado para esta máquina. En la figura 23, se puede corroborar el incremento del porcentaje graso en un 5,3% de octubre con respecto al mes de febrero del mismo año.

Con respecto al límite estandarizado en la TRE001, se termina el mes de octubre con un incremento del 26,3%, lo cual representa una oportunidad de mejora en el ahorro del lubricante RA 400 CPD.

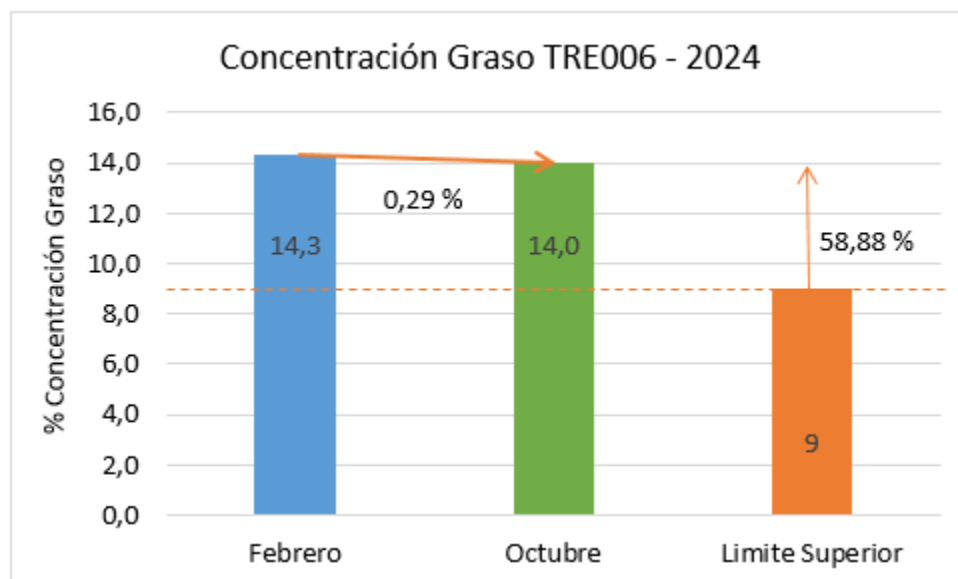
**Figura 23***Concentración graso TRE001**Fuente. Autoría Propia.***Figura 24***Grafica concentración graso emulsión TRE006**Fuente. Autoría Propia.*

En la figura anterior, se puede observar el comportamiento de la emulsión en la maquina trefiladora de finos desde el mes de febrero hasta el mes de octubre, evidenciándose que el porcentaje graso se encuentra en todas sus mediciones por encima del límite superior estandarizado para esta máquina. En la figura 25, se puede observar la reducción del porcentaje graso en un 0,29 % de octubre con respecto al mes de febrero del mismo año.

Con respecto al límite estandarizado en la TRE006, se termina el mes de octubre con un incremento del 58,88 %, lo cual es un incremento muy alto, representando una gran oportunidad de mejora en el ahorro del lubricante UNOPOL U 570, ya que se está consumiendo más del doble del lubricante del que se debería utilizar en esta trefiladora.

### Figura 25

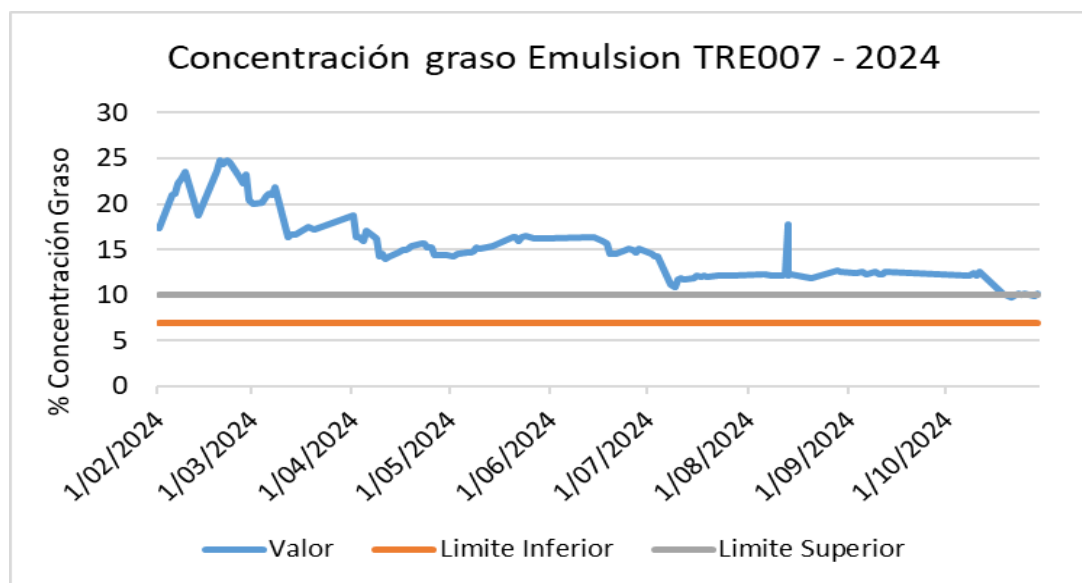
*Concentración graso TRE006*



*Fuente. Autoría Propia.*

**Figura 26**

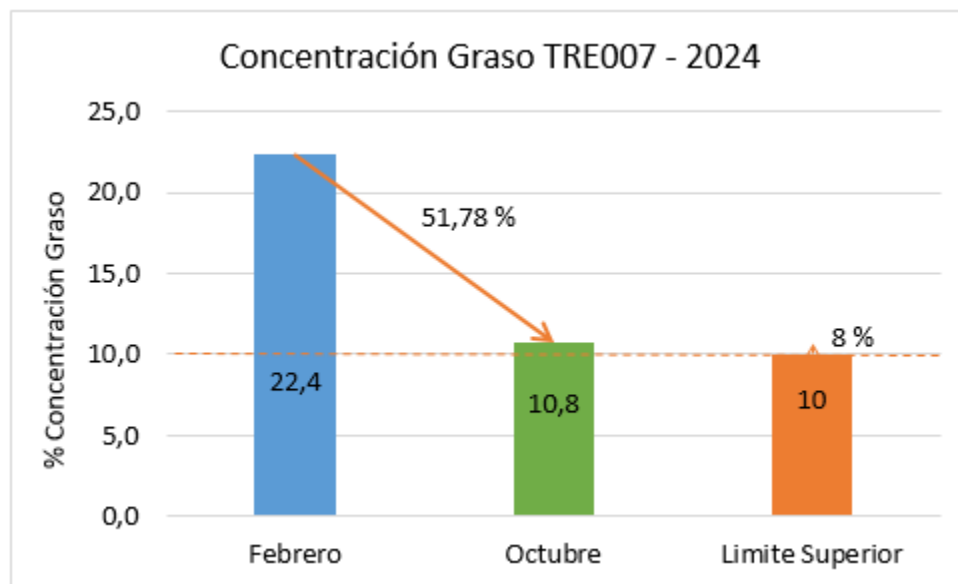
*Grafica concentración graso emulsión TRE007*



*Fuente.* Autoría propia.

En la figura anterior, se puede observar el comportamiento de la emulsión en la máquina trefiladora intermedia TRE007 desde el mes de febrero hasta el mes de octubre, evidenciándose que el porcentaje graso se encuentra en todas sus mediciones por encima del límite superior estandarizado para esta máquina, pero con una tendencia importante de ir disminuyendo a su valor estándar. En la figura 27, se puede observar la reducción del porcentaje graso en un 51,78 % de octubre con respecto al mes de febrero del mismo año.

Con respecto al límite estandarizado en la TRE006, se termina el mes de octubre con un incremento del 8 %, lo cual es un incremento mínimo. Se concluye en poder mantener este valor registrado en el mes de octubre ya que su desviación respecto al límite superior es mínima.

**Figura 27***Concentración graso TRE007**Fuente. Autoría Propia.****Registro grafico de la temperatura de la emulsión en el área de trefilado***

Otra de las variables a controlar en el proceso de trefilado respecto al cuidado de los lubricantes o emulsiones utilizadas en dicho proceso es la temperatura, la mayoría de los lubricantes poseen un rango de temperatura óptimo para su buen funcionamiento como refrigerante, lubricante y detergente, por lo cual altas o muy bajas temperaturas pueden ocasionar que la emulsión se degraden o aumenten su grado de viscosidad respectivamente, perdiendo o disminuyendo de esta forma las propiedades antes mencionadas.

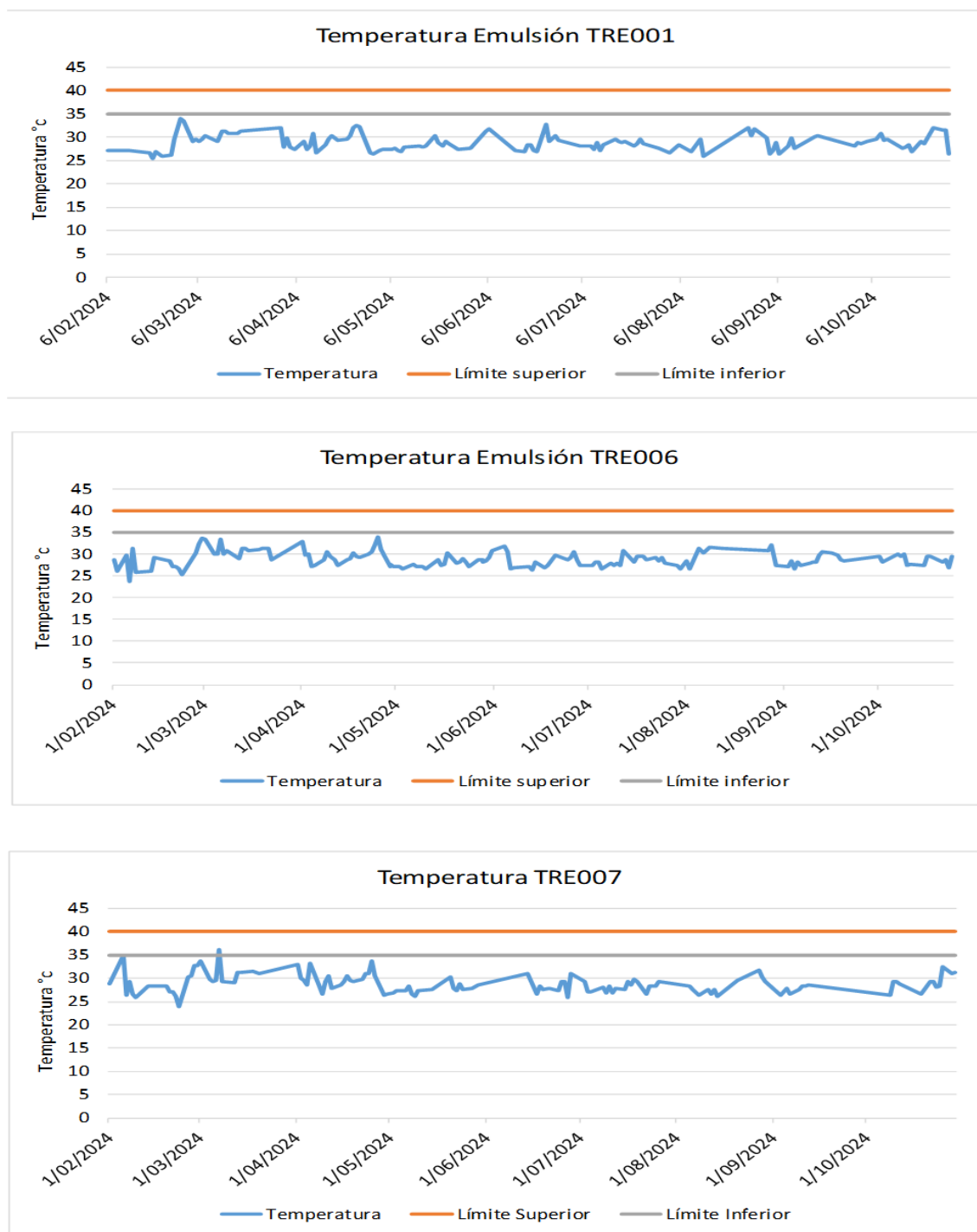
Las emulsiones de trabajo en las maquinas trefiladoras de Nexans Colombia, están estandarizadas para un óptimo desempeño entre 35 °c y 40 °c, aunque en los registros tomados a las tres trefiladoras de estudio, estas temperaturas se encuentran entre un rango de 26 °c a 33 °c, valores por debajo del límite inferior de temperatura estandarizado en el proceso de trefilado, rango de temperatura en el que aun la emulsión mantiene y conserva sus propiedades de

lubricación, refrigeración y detergencia. Según NIEHOFF GROUP, (1993), en su manual de servicio, línea MMH 120 dice: “La trefilina con características de lubricación y limpieza optimas debe encontrarse a temperaturas optimas de aproximadamente 40 °c. Temperaturas demasiado altas descomponen la trefilina, temperaturas demasiado bajas la trefilina se vuelve viscosa y ensucia” (p. 22).

En la siguiente figura, se presenta el diagrama de registro y control de temperaturas de la emulsión en cada maquina trefiladora de cobre en el área de trefilado.

**Figura 28**

*Diagrama de control de temperaturas de la emulsión en el área de trefilado*



*Fuente. Autoría Propia.*

### Fase 3. análisis, generación y evaluación de estrategias planteadas enfocadas a la reducción de costos de la no calidad por roturas de hilos de cobre en el proceso de trefilado

#### Herramientas de análisis de datos

##### *Diagrama de Pareto*

El diagrama de Pareto es una técnica o herramienta que nos permite clasificar gráficamente mediante un diagrama de barras información o datos de forma ordenada de mayor a menor según sea su importancia o relevancia, pudiendo de esta manera identificar los problemas más importantes o significativos que afectan un proceso o actividad en una organización u empresa, permitiendo centrar los esfuerzos y tomas de decisiones en aquellos puntos críticos rápidamente:

El principio de Pareto, conocido también como principio del 80-20, dicta la importancia de unos pocos problemas con mucha importancia frente a los muchos más problemas que se pueden observar, pero sin importancia alguna, es decir, el 20% de los problemas ocupan el 80% de las consecuencias (Gallach et al., 2020, p. 26).

#### **Tabla 20**

*Total de Roturas de hilos de cobre en el área de trefilado – 2024*

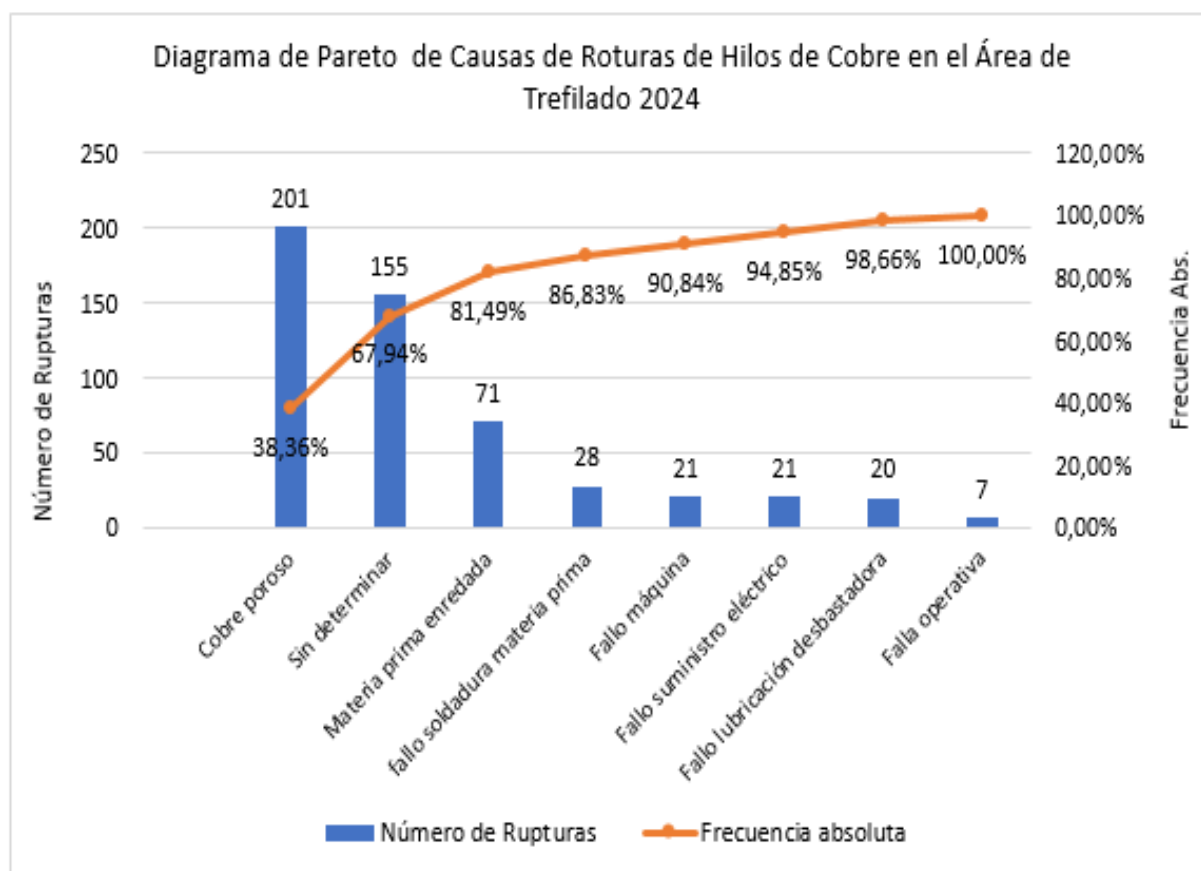
Causa	Número de Roturas	Frecuencia Relativa	Frecuencia absoluta
Cobre poroso	201	38,36%	38,36%
Sin determinar	155	29,58%	67,94%
Materia prima enredada	71	13,55%	81,49%
fallo soldadura materia prima	28	5,34%	86,83%
Fallo máquina	21	4,01%	90,84%
Fallo suministro eléctrico	21	4,01%	94,85%
Fallo lubricación desbastadora	20	3,82%	98,66%

Causa	Número de Roturas	Frecuencia Relativa	Frecuencia absoluta
Falla operativa	7	1,34%	100,00%
<b>Total</b>	<b>524</b>	<b>100%</b>	

*Nota.* En esta tabla, se puede observar el número total de roturas de hilos de cobre en el área de trefilado en la etapa de recolección de datos, según la posible causa del fallo y el cálculo de la frecuencia relativa y absoluta en cada uno de ellos. *Fuente.* Autoría Propia.

**Figura 29**

*Diagrama de Pareto*



*Fuente.* Autoría Propia.

Como se puede observar en la gráfica, el diagrama de Pareto nos muestra de forma visual el impacto que tiene cada una de las causas identificadas en los fallos por roturas de hilos, según

esta técnica el 20% de los problemas ocupa el 80% de las consecuencias, con lo cual podemos concluir que el 81,49% de las roturas están en las tres primeras causas: cobre poroso o materia prima contaminada, fallos sin determinar y problemas de materia prima por enredos.

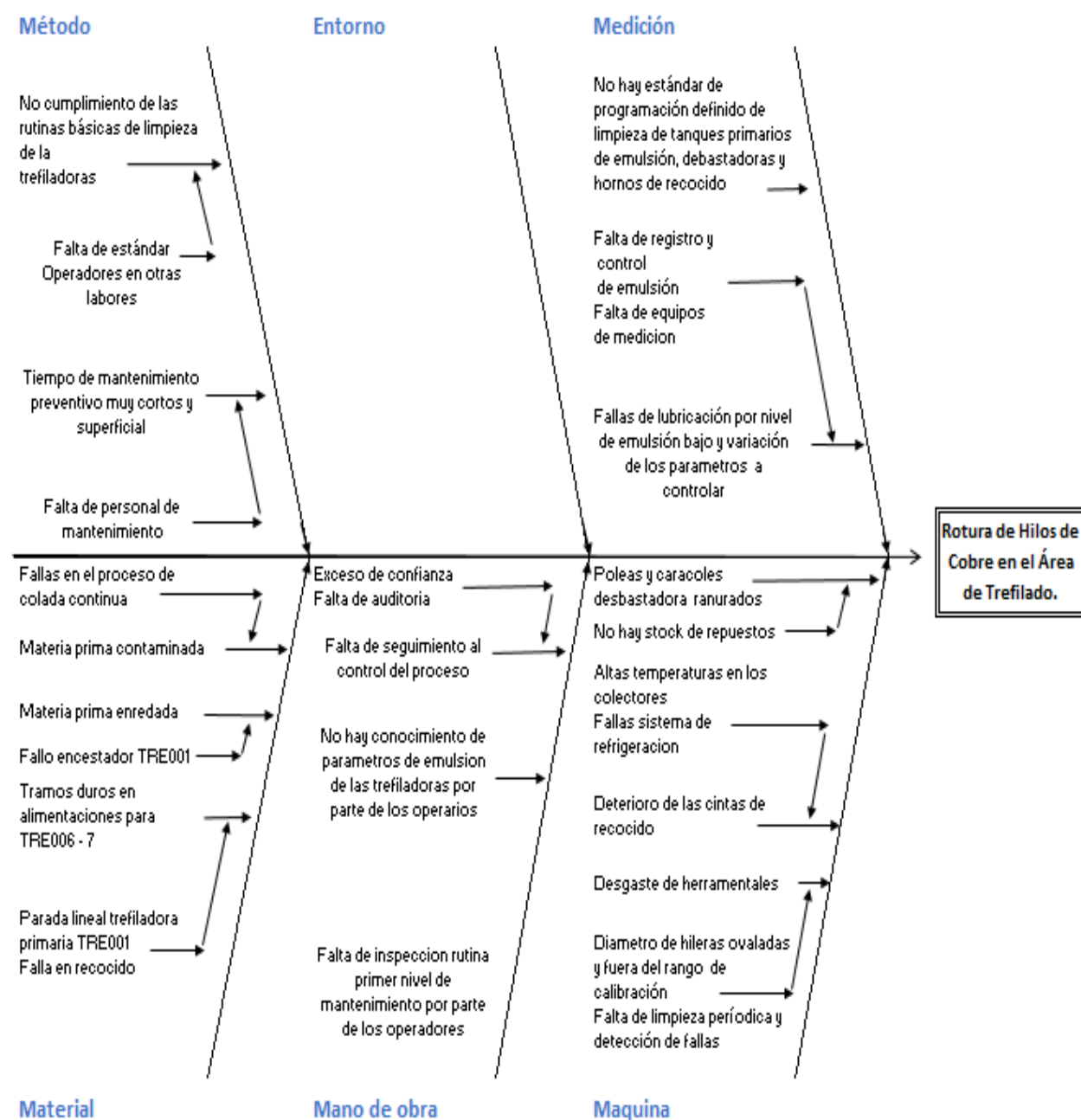
### ***Diagrama de Ishikawa***

El diagrama de Ishikawa, conocido también como espina de pescado es una técnica o herramienta visual que ayuda a la solución de problemas, para ello se determina el problema a solucionar el cual se representa en la cabeza del pescado y mediante una lluvia de ideas se determinan las posibles causas que lo originan, clasificando cada causa en una espina (llamadas también las 6 m de Ishikawa) que son: material, método, máquina, mediciones, mano de obra y medio ambiente o entorno. Según Gutiérrez y De la Vara, (2013), define este diagrama como:

Es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan. La importancia de este diagrama radica en que obliga a buscar las diferentes causas que afectan el problema bajo análisis y, de esta forma, se evita el error de buscar de manera directa las soluciones sin cuestionar cuáles son las verdaderas causas (p. 147).

**Figura 30**

*Diagrama de Ishikawa: Roturas de hilos de cobre*



*Nota.* Diagrama de Ishikawa, determinación de posibles causas que generan el efecto de roturas de hilos de cobre en el área de trefilado. *Fuente.* Autoría Propia.

**Tabla 21***Planes de acción según diagrama de Ishikawa*

Causa raíz	Acción
Materia prima contaminada.	Reclamación y devolución de materias primas a proveedores. Realizar un plan de seguimiento a roturas de hilos para identificar las causas reales de estos fallos.
Materia prima enredada tramos duros.	Socialización con personal operativo maquina TRE001 para marcación e identificación de estos tramos en las alimentaciones para las TRE006 y TRE007.
Fallas de lubricación por nivel de emulsión bajo.	Medición de tanques primarios, visualización de información de capacidad, nivel óptimo, nivel mínimo, etc.
Falta de registro y control de emulsión.	Control y registro diario de parámetros de emulsión en el área de trefilado.
No hay estándar de programación definido de limpieza de tanques primarios de emulsión, desbastadoras y hornos de recocido.	Crear cronograma y estandarizar fechas de limpieza tanques área de trefilado.
Falta de seguimiento al control del proceso.	Socialización a operarios del área de trefilado de la importancia del control de procesos y seguimiento de las variables a controlar.
Poleas, anillos y caracoles de las desbastadoras ranurados.	Solicitar repuestos y programar con el área de mantenimiento el cambio de poleas, anillos y caracoles desgastados.
Hileras ovaladas y fuera del rango de calibración.	Creación de formato de registro y control de vida útil de datos e hileras.

*Fuente. Autoría Propia.*

En la tabla anterior, mediante el análisis del diagrama de Ishikawa, se presentan las posibles causas halladas que inciden en las roturas de hilos de cobre en el área de trefilado, a su

vez, se presentan los planes de acción que pueden contribuir a minimizar la ocurrencia de estos fallos.

### ***Estratificación***

La estratificación es otra técnica o herramienta visual que nos permite identificar mediante la separación de grandes datos en categorías o clases pequeñas para simplificar su análisis, esta técnica de estadística utilizada en el control de la calidad es de gran importancia, su utilización se efectúa mayormente en la fase de diagnóstico permitiéndonos encontrar las diferentes causas que influyen en un problema determinado: “Es una poderosa estrategia de búsqueda que facilita entender cómo influyen los diversos factores o variantes que intervienen en una situación problemática, de forma que sea posible localizar diferencias, prioridades y pistas que permitan profundizar en la búsqueda de las verdaderas causas de un problema” (Gutiérrez y De la Vara, 2013, p. 139). A continuación, en la tabla 22, se presenta la técnica de estratificación enfocada en el fallo de roturas de hilos de cobre en el área de trefilado.

Mediante esta técnica podemos observar que la mayor causa de roturas de hilos de cobre en el área de trefilado esta generada por problemas de materia prima (cobre poroso) con una incidencia de 201 fallos por esta causa, siendo la trefiladora 6 (TRE006) la maquina más impactada con este tipo de fallo (172).



permitan tomar medidas para identificar las fallas, estas fallas sin identificar se reagruparan en nuevas causa que permitirán un mejor estudio y con ello una solución más puntual a nuestro estudio.

### ***Metodología SQDCE***

SQDCE, es una metodología de gestión visual enfocada a la priorización de oportunidades de mejora dentro de un proceso productivo, está conformada por 5 métricas a medir las cuales dan el nombre a esta metodología: S – seguridad, Q – calidad, D – Entregas, C – costos y E – medio ambiente. Su ejecución se centra en pequeñas reuniones por equipos donde se plasman las diferentes deficiencias o problemas en la línea de producción con el fin de que entre todo el equipo se busquen, definan e implementen actividades que en su caso mitiguen o erradiquen dicha falencia y/o se anteponga a la ocurrencia de esta, dando soluciones que aumenten la eficiencia productiva, la seguridad y la calidad, minimizando costos y dando soluciones amigables al medio ambiente. Según Rodríguez (2017), señala:

El SQDCE es un estándar/método de gestión de planta cuyo impacto es la resolución de problemas y el seguimiento de KPI's de una línea de producción. La base de esta herramienta pasa por fomentar la comunicación interdepartamental con el fin de hacer partícipes a todos los responsables de cada departamento para perseguir un fin en común: la mejora continua de la línea (p. 79).

El desarrollo de la metodología SQDCE en Nexans Colombia se realiza en dos partes. La primera en los tableros dispuestos en cada área de los diferentes procesos, allí el equipo de operadores del área de trefilado junto con un representante del área de mantenimiento, Calidad, HSEQ y jefe de turno se plantean y se buscan acciones ante las desviaciones ocurridas en el día en el proceso productivo del área, estas acciones se ejecutan de forma inmediata si la posible

acción a implementar está al alcance de ejecución del equipo de área, en tal caso que las acciones a tomar necesiten de un mayor grado de planeación o de recursos financieros o técnicos, estas señales o desviaciones pasan la segunda etapa que es el SQDCE Main Room, reunión en la cual están las diferentes gerencias de área, ingeniería de procesos y mejora continua.

### Figura 31

#### *SQDCE área de trefilado*



*Nota.* En la figura anterior, se observa las reuniones diarias y el tablero visual de SQDCE en el área de trefilado. *Fuente.* Autoría Propia.

A continuación, la tabla 23, nos presenta las diferentes señales plasmadas en el tablero de SQDEC del área de trefilado en cuanto a fallos por roturas de hilos de cobre en el área.

**Tabla 23**

Registro de señales formato SQDCE área de trefilado

Señales SQDCE Área de Trefilado						
Señal	Letra	Operario	Descripción del problema	Acción de contención	Maquina	Responsable
Entregas	E	Fabio Arciniegas	Se continua con reventones en desbastadora durante el proceso. Se presenta problemas con el cobre de alimentación.	Se hace cambio de materia prima por canastillos trefilados de nueva colada de CU	TRE006	Operarios TRE006. Área de calidad. área de calidad /
Entregas y calidad	E/Q	Benito Ducuara	Continuos reventones por material poroso en TRE006	Enhebrar nuevamente y sacar tramo contaminado del canastillo	TRE006	Operarios de trefilado
Entregas	E	Marcos Ojeda	Reventón de hilo en desbastadora por falta de lubricación, flautas tapadas.	Se limpia flauta, se enhebra hilo y se continua el proceso	TRE007	Operarios de trefilado
Entregas	E	Armando Figueroa	Baja productividad por reventones continuos por CU poroso	Se baja velocidad a la línea hasta consumir tramo y se socializa problema en el área.	TRE006	Operarios de trefilado. jefe de planta
Entregas y calidad	E/Q	Marcos Ojeda	Reventones continuos en desbastadora, cobre estañado con poros.	Se enhebra nuevamente para dar continuidad al proceso y se hace cambio de cajas de cobre estañado.	TRE006	Operarios de trefilado. Ingeniería de procesos.
Entregas	Q	Gustavo Silva	Continuos reventones en desbastadora TRE006 C14 (B).	Se hace revisión de parámetros de emulsión, nivel de tanques, cambio de hileras.	TRE006	Operarios de trefilado

*Nota.* Señales registradas en SQDCE área de trefilado, datos registrados por el área de mejora continua. *Fuente.* Autoría Propia.

La implementación y desarrollo de las reuniones en el área de trefilado aplicando la metodología SQDCE es muy importante, ya que permite tomar acciones de contención o erradicación de forma inmediata dadas por el equipo de trabajo y que no requieren complejidad en sus acciones. En la tabla anterior se presenta una serie de señales registradas por los operarios del área debido a las roturas de hilos de cobre por problemas en la materia prima, dichas acciones a realizar son por ejemplo el cambio de canastillos de alimentación, cambios de hileras, revisión de los parámetros de la emulsión, revisión por parte del equipo de mantenimiento, adición de emulsión, enhebrado nuevamente de la maquina entre otras, con el fin de dar continuidad al proceso.

Cuando las señales registradas en piso en el área de trefilado son muy complejas o requieren de inversión o de otro tipo de tratamiento, estas señales escalonan al SQDCE principal (Main Room), (ver figura 32), donde las diferentes jefaturas y gerencias de área tomaran acciones que erradiquen las problemáticas detectadas en dicha área.

### Figura 32

#### *SQDCE Main Room*



*Nota.* Reunión de SQDCE principal con jefaturas de área y gerencias. *Fuente.* Autoría Propia.

A continuación, la tabla 24, presenta el registro y acciones a efectuarse por parte del equipo de gerencia y jefaturas por señales de problemas de roturas de hilo en la TRE006, escalonada del SQDCE de área al SQDCE principal.

**Tabla 24**

*Registro de señales SQDCE Main Room*

Señales SQDCE Main Room						
Señal	Letra	Operario	Descripción del problema	Acción de contención	Maquina	Responsable
Entregas	E/Q	STAFF	Reventones no identificados	Programar solución de problemas MTTO y operarios de área	TRE006	Jefe de planta

*Nota.* Señales registradas en SQDCE Main Room, datos registrados por el área de mejora continua. *Fuente.* Autoría Propia.

Como plan de acción en SQDCE Main Room, se programa una reunión con el área de mantenimiento, jefaturas y operarios del área de trefilado en la cual se planifican las siguientes acciones que se registran en la tabla 25.

**Tabla 25**

*Plan de acción en SQDCE Main Room*

Plan de trabajo trefiladora de finos NIEHFFO TRE006	
Acciones	Responsable
Revisión de sincronización de anillos en TRE006	área de mantenimiento Ingeniero de automatización
Revisión de rodamientos desbastadora TRE006	área de mantenimiento Técnico de mantenimiento mecánico
Cambio de juego de hileras de trefilación TRE006	Ingeniería de procesos Operarios de TRE006
Limpieza de tanque primario y cambio de emulsión trefiladora TRE006	Jefe de planta Operarios de TRE006
Cambio de alimentación TRE006 por nuevo lote.	Jefe de planta
Reclamación a proveedor	Ingeniería de procesos

*Nota.* Planes de acción SQDCE principal sobre roturas de hilos en la TRE006. Adaptado de SQDCE, Área de mejora continua Nexans Colombia. *Fuente.* Autoría Propia.

El desarrollo de cada acción plasmada en SQDCE principal permitirá reducir la brecha en la disminución de ocurrencias del fallo por roturas generados en la trefiladora de finos TRE006, analizando acción tras acción hasta llegar al origen de la situación problemática.

Uno de los aspectos claves que se manejó y que se fundamentó en la revisión literaria y en el conocimiento de expertos en el tema sobre la ocurrencia aun de fallos en la TRE006 por problemas de materia prima después de haber implementado los planes de acción, es la posible deficiencia de la lubricación en el proceso anterior, dado que esta situación solo se presenta en esta trefiladora cuya alimentación de diámetro 1,98 mm proviene de la trefiladora primaria TRE001 y que en la trefiladora de intermedios TRE007 no es tan crítico y cuya alimentación es de diámetro 2,28 mm. Esto permitió que mediante pruebas en el cambio de la alimentación de la TRE007 al consumir la alimentación de la trefiladora TRE006, se diera como resultado un incremento en los fallos por roturas en esta trefiladora, razón por la se centraron las miradas en el proceso de trefilación primario de cobre (TRE001), debido a que la posición de los enhebrados para la trefilación de las dos alimentaciones (1,98 mm y 2,28 mm) no es la misma ya que el enhebrado para trefilar alimentación 2,28 implica la utilización de 11 pasos en la desbastadora, uno menos que en el enhebrado de la alimentación 1,98 mm (12 pasos), observándose que en el paso 12 la lubricación es mínima. Según Pop y Steininger (2003), afirman que:

La falta de lubricante puede provocar defectos superficiales como desgarros, excoriaciones o grietas transversales. Las excoriaciones son el resultado de la rotura de la capa de lubricante entre la matriz de trefilado y el alambre de cobre o aluminio. A su vez, una

lubricación deficiente generara matrices obstruidas que son causadas por un exceso de finos metálicos que penetran y compactan la matriz de embutición (pp. 21-23).

A continuación, se realiza el análisis y evaluación de las principales causas halladas en la realización de este estudio que generan los fallos por roturas de hilos de cobre en el área de trefilado como lo son los problemas por materia prima y la lubricación en el proceso de desbaste.

### **Fallo de roturas por problemas de materia prima**

Los fallos por problemas de materia prima (cobre poroso), son la principal causa de las roturas de los hilos de cobre en el proceso de trefilación en Nexans Colombia planta Bucaramanga, a raíz de esta causa se hace necesario implementar acciones que permitan minimizar estos problemas atacando su fuente.

La gran mayoría de materias primas que alimentan la planta de Bucaramanga son importadas, el alambrón de cobre en un 95 % es traído del Perú cuyo proveedor es la filial de Nexans INDECO, el otro 5% es traído de Chile cuyo proveedor es la filial Nexans MADECO.

Su empaque es en rollos de 4 toneladas con un diámetro de hilo de 8,81 mm, cobre electrolítico ETP 1 C11040, embalado en estibas de madera y protegido contra la humedad como se puede observar en la figura 33.

### Figura 33

#### Alambrón de cobre



*Nota.* Alambrón de cobre proveedor INDECO (Perú). *Fuente.* Autoría Propia.

El alambrón de cobre es un material ETP 1 cobre electrolítico cuya principal característica es su pureza (99,90% como mínima) apto para la fabricación de conductores eléctricos y de telecomunicaciones con una conductividad eléctrica de 101, 4% IACS (Estándar Internacional de Cobre Recocido). A continuación, en la tabla 26, se describe las características técnicas del alambrón de cobre utilizado en el proceso de trefilado en la planta de Nexans Colombia.

### Tabla 26

#### Datos técnicos del alambrón de cobre

Datos técnicos	
Nombre:	Alambrón de Cobre Electrolítico ETP 1 C11040
Empresa:	INDECO by Nexans
Empaque:	Rollos de 4000 kg, embalados sobre estibas de madera, protegidos contra la humedad y daños en manipulación y transporte
País:	Perú
Uso:	Fabricación de conductores eléctricos
Norma técnica	NTC 1818 - 2022 ó ASTM B49

Datos técnicos					
Diametro Nominal	Densidad	Pureza mínima	Resistividad Max a 20 °C	Conductividad Max 20 °C	Elongación Mínima
mm	g/cm <sup>3</sup>	%	Ω.mm <sup>2</sup> /m	% IACS	%
8 mm	8,89	99,90%	0,017002	101,4	30

*Nota.* Adaptado de la Norma Técnica Colombiana INCONTEC; NTC 1818, 2022, p. 5.

Suministrado por el área de técnica y control de calidad Nexans Colombia. Especificaciones técnicas del alambión Código: D-CC-004, versión 03. (2024).

Una de las principales características del alambión de cobre proveniente del Perú y Chile es que es extraído directamente de las minas, su proceso de fundición de colada continua altamente tecnificado garantiza una materia prima de alta calidad, óptima para la fabricación de conductores eléctricos garantizando el flujo continuo de esta en los procesos productivos de fabricación.

Dada la excelente calidad del alambión de cobre, se hace necesario implementar la metodología SQDCE, pilar fundamental del programa Nexans Excellence Way (NEW), en búsqueda de factores que estén influyendo a que la materia prima (Cobre) este presentando roturas en el proceso de trefilado, especialmente en el trefilado de finos en la TRE006.

### **Lubricación máquinas trefiladoras**

La lubricación y con ello las emulsiones utilizadas en el área de trefilado juegan un papel importante en el óptimo desarrollo del proceso de trefilación, una deficiente lubricación o deterioro de esta puede generar que la emulsión pierda propiedades de limpieza y con ello se sature de residuos o polvillo de cobre lo que generara a la postre problemas del alambre al paso por las hileras de trefilación:

El exceso de finos en el sistema de lubricación y la introducción de objetos extraños en la solución del lubricante, puede producir un defecto importante en la superficie del

alambre. El defecto producirá concentración de tensiones durante el trefilado posterior, lo que resultará en una rotura del alambre (Chía y Patel, 1985, p. 29).

En la figura 34, se observa el residuo de polvillo de cobre y suciedad localizado en la flauta o sistema que lubrica los anillos superiores de la desbastadora de trefilación primaria TRE001, encontrándose obstruidos los ductos que lubrican a los dos últimos de desbaste. El sistema de lubricación en las flautas es por chorro orientado por lo que se puede observar la lubricación en esta zona es mínima.

### Figura 34

*Residuo de polvillo de cobre en ductos de lubricación TRE001*



*Fuente. Autoría Propia.*

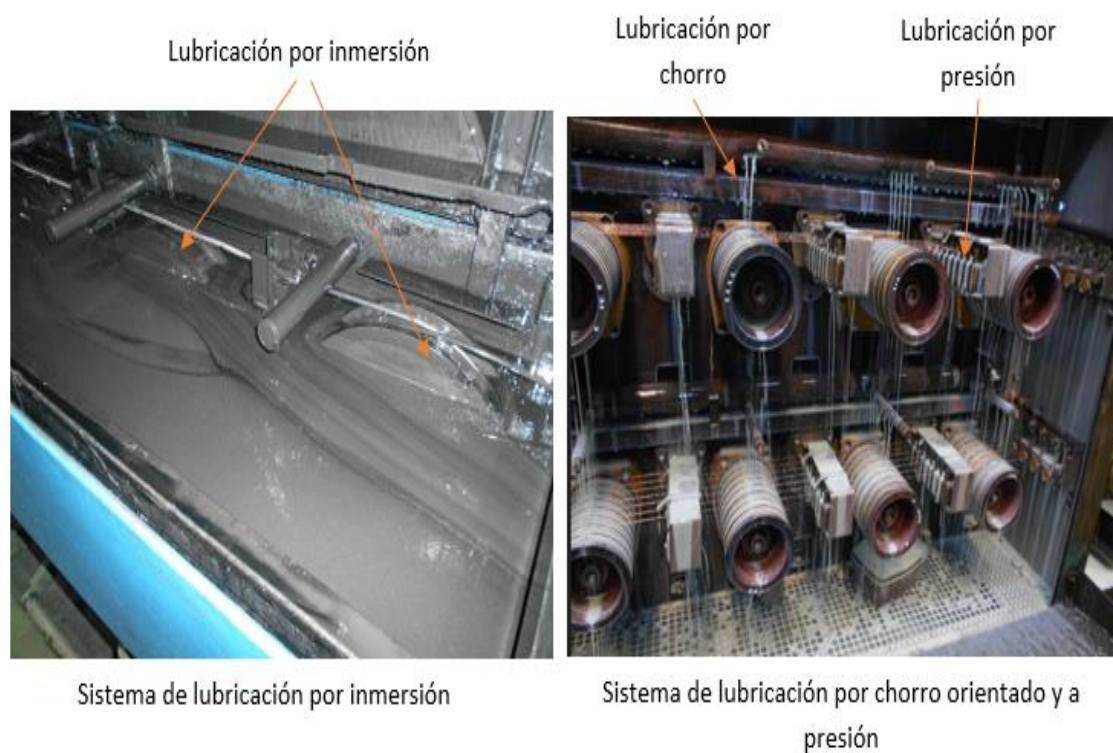
En la figura 35, se presentan los dos tipos de sistemas de lubricación mencionados. En la lubricación, se hace necesario no solo contar con un excelente lubricante sino con un adecuado sistema de distribución que permita que la lubricación llegue a todas las partes que interactúan en la desbastadora, con un caudal óptimo y una presión del baño que permita cumplir al 100 % las funciones de lubricación, refrigeración y detergencia.

La trefiladora primaria de cobre (TRE001), cuenta con un sistema de lubricación mixto, ya que sus anillos inferiores se encuentran con un sistema de lubricación por semi-inmersión (la lubricación cubre aproximadamente el 50 % del anillo de tiro) y sus anillos superiores con un sistema de lubricación por chorro, además, los compartimentos donde van ubicadas las hileras o dados de trefilar se encuentran lubricados con un sistema a presión.

La trefiladoras de finos e intermedios (TRE006 y TRE007) se encuentra con un sistema de lubricación por chorro en sus anillos y a presión en los compartimientos de las hileras o dados de trefilación. A continuación, en la figura 35, se presenta los sistemas de lubricación de las maquinas trefiladoras de cobre en Nexans Colombia.

**Figura 35**

*Sistemas de lubricación*




*Fuente. Autoría Propia.*





El cuidado de la lubricación y sus diferentes variables se torna en un factor primordial en el proceso de trefilación, por ello, se hace necesario la implementación de acciones que permitan controlar, evaluar y complementar las acciones ya implementadas en el área, como por ejemplo la implementación de cronogramas de limpieza y su respectiva auditoria, la implementación de información de los tanques primario que permita al operario de forma visual llevar un control del nivel y capacidad óptimos de cada tanque, entre otros, acciones que permitan tomar decisiones ante cualquier desviación en estas mediciones. Además, la estandarización de un procedimiento de actividades (figura 36), para la toma de muestras de emulsión por parte del personal operativo del área con lo cual minimice los errores que se pudiesen presentar en la realización de estos procedimientos de toma y registros de estos datos.



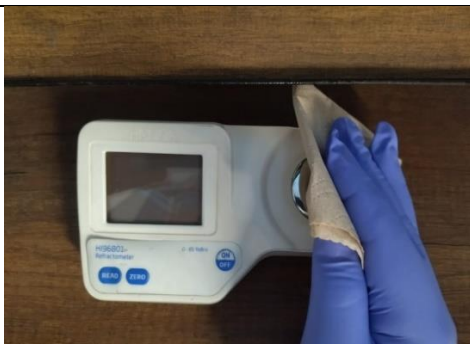
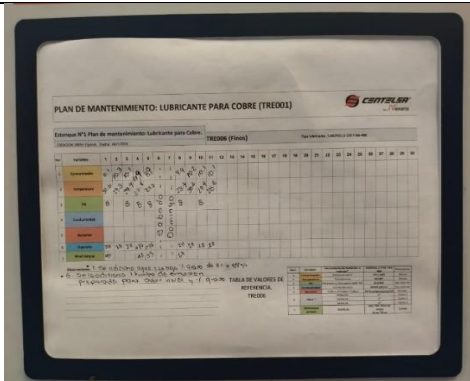
### Figura 36

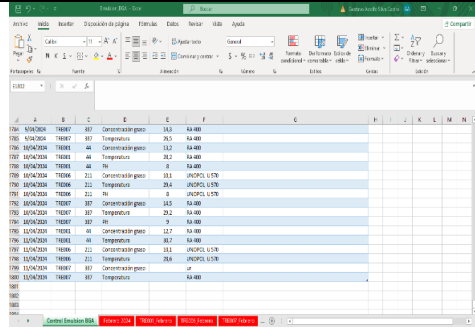
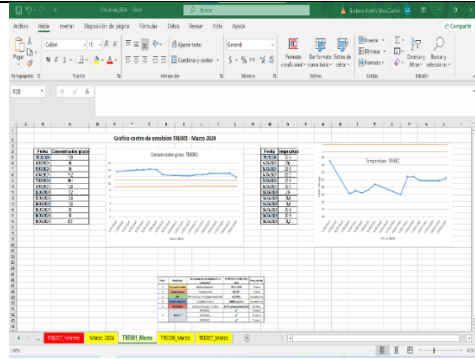
*Estandarización de actividades, tomas de muestras de emulsión área de trefilado*

	<b>FORMATO DE ACTIVIDADES DE TOMA DE MUESTRAS, REGISTRO Y CONTROL DE EMULSIÓN EN EL ÁREA DE TREFILADO</b>	Código:
		Versión: 01
		Hoja: 1 de 4

Ítem	Registro Fotográfico	Actividad
1		Limpieza de refractómetro digital HI96801 0 - 85 % Brix con un paño o toalla

Ítem	Registro Fotográfico	Actividad
2		<p>Encender el refractómetro digital y calibrar el equipo con agua, la medida obtenida debe ser igual a cero.</p> <p>Si el valor de la medida obtenida es diferente de cero se debe limpiar nuevamente el equipo y volver a calibrarlo</p>
3		<p>Limpiar nuevamente el refractómetro digital HI96801 0 - 85 % Brix con un paño o toalla, quedando su lente limpia y seca</p>
4		<p>Se toma la muestra de emulsión en un recipiente limpio en la bandeja de la desbastadora en la trefiladora de cobre.</p>
5		<p>Con el refractómetro digital encendido, se adiciona emulsión sobre la lente de medición. Se procede a ajustar el medidor a ceros oprimiendo el botón ZERO.</p> <p>Se oprime el botón READ.</p> <p>Realizada esta acción el display del medidor registrara dos medidas.</p> <p>La medida superior indicara el porcentaje (%) de concentración graso de la muestra y la medida inferior su respectiva temperatura (°C).</p>

Ítem	Registro Fotográfico	Actividad
6		<p>Con el resto de la muestra de emulsión que quedo en el recipiente, se procede a tomar el registro del PH, para ello se utiliza una laminilla o tiras indicadoras de PH la cual se sumerge en la muestra por el tiempo de un (1) minuto</p>
7		<p>Cumplido el tiempo de (1) minuto se procede a retirar la tira de PH de la muestra de emulsión, la cual se compara con el código de colores de información que posee la caja de tiras de PH, donde se comparara la similitud de tonos entre la tira y la información registrada en la cajetilla de tiras de medición de PH, registrándonos el respectivo valor del PH. El valor registrado debe ser neutro (8 – 9) PH.</p>
8		<p>Hechas las respectivas mediciones en la emulsión, se procede a apagar el refractómetro digital y realizar nuevamente una limpieza de tal forma que el equipo quede completamente limpio y seco para su posterior uso.</p>
9		<p>Los datos tomados en las mediciones de la emulsión se proceden a registrar en el formato de control de emulsión ubicados en cada máquina trefiladora, en este formato también se plasmarán las desviaciones encontradas en la toma respecto a la tabla de valores de referencia y se plasmarán las respectivas acciones de contención sobre estas desviaciones.</p>

Ítem	Registro Fotográfico	Actividad
10		<p>Registrados los datos de valores de la emulsión en los formatos de control de cada trefiladora, se procede a registrar nuevamente estos datos en el archivo de Excel llamado Emulsión BGA.</p>
11		<p>Se procede a graficar en Excel con base a los datos registrados en el archivo llamado Emulsión BGA los diferentes valores tomados y registrados para conocer los comportamientos de la emulsión respecto a los meses anteriores.</p>

<b>OBSERVACIONES</b>		Diseño: Gustavo Silva
		Aprobó: Wilfer Espinel
		Octubre 2024

Fuente. Autoría Propia.

### **Implementación de cronogramas de limpieza en el área de trefilado**

Como se ha evidenciado a lo largo de este estudio, la acumulación de cantidades de residuo de polvillo de cobre en las desbastadoras es un factor preocupante, para ello, se hace necesario la implementación de un cronograma periódico de limpieza tanto en tanques primarios, desbastadoras y hornos de recocido que minimicen la acumulación de sedimento lo cual repercute en una emulsión sobresaturada de partículas de cobre que afectara las propiedades y funciones de la emulsión y con ello el deterioro acelerado de los dados, cabrestantes y taponamiento en los ductos de lubricación.

Estos cronogramas de limpiezas se deben programar entre el área de programación y producción de tal forma que se pueda programar con anterioridad dicha parada sin afectar el proceso productivo, con fecha y ejecutor, así mismo, con el responsable que audita dichas limpiezas (Ver figura 37).

Figura 37

Formato de limpieza tanques de emulsión área de trefilado

	<b>FORMATO DE REGISTRO DE LIMPIEZA TANQUES ÁREA DE TREFILADO</b>	Código:
		Versión: 01
		Hoja 1 de 2

<b>TREFILADORA PRIMARIA DE COBRE TECALSA - TRE001</b>
---

**Limpieza Tanque Principal**      Frecuencia: Cada 4 meses.

#	Fecha programada	Operario	Residuo (kg)	Se Realiza	
				Si	No
1					
2					
3					
4					

**Limpieza Desbastadora**      Frecuencia: Mensual

#	Fecha Programada	Operario	Residuo (kg)	Se Realiza	
				Si	No
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

<b>OBSERVACIONES</b>		Diseño: Gustavo Silva
		Aprobó: Wilfer Espinel
		Octubre 2024

	<b>FORMATO DE REGISTRO DE LIMPIEZA TANQUES</b> <b>ÁREA DE TREFILADO</b>	Código:
		Versión: 01
		Hoja 2 de 2

<b>TREFILADORA PRIMARIA DE COBRE TECALSA - TRE001</b>
---

**Limpieza Horno de Recocido**

Frecuencia: Semanal

#	Fecha Programada	Operario	Se Realiza	
			Si	No
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				

<b>OBSERVACIONES</b>		Diseño: Gustavo Silva
		Aprobó: Wilfer Espinel
		Octubre 2024

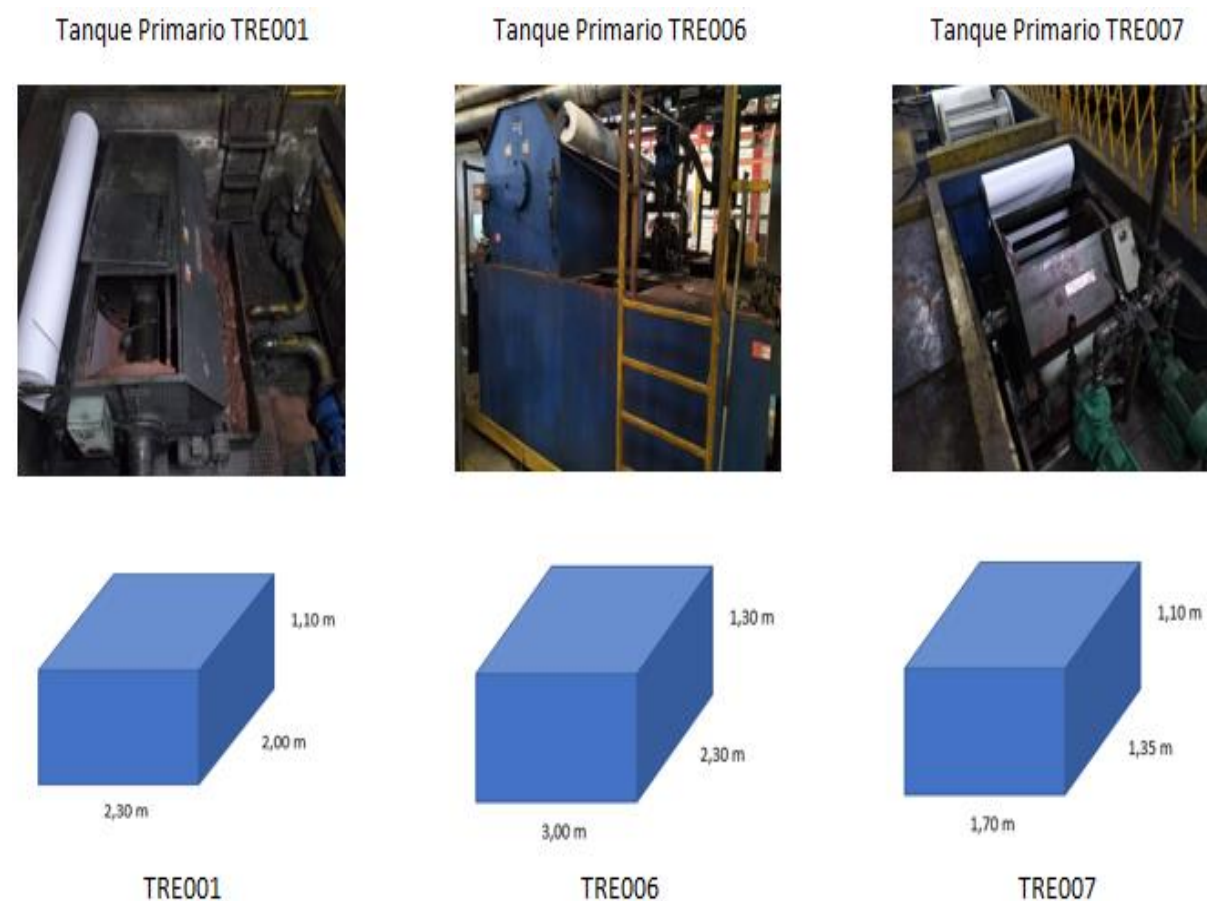
*Nota.* El diseño de este formato aplica para la TRE006 y TRE007. *Fuente.* Autoría Propia.

### ***Registro y medición de tanques primarios de emulsión***

A continuación, se describe cada uno de los tanques primarios del área de trefilado, con el fin de identificar la capacidad mínima y máxima, niveles óptimos requeridos de emulsión entre otros, que permita mediante una información visual el control de estos parámetros en cada tanque como se muestra en la figura 38 y tabla 27.

### **Figura 38**

#### *Medidas tanques primarios*



*Fuente. Autoría Propia.*

**Tabla 27***Medidas de capacidad y nivel de emulsión en tanques primarios área de trefilado*

Información Tanques Área de trefilado						
Máquina	Dimensiones l x a x h (mts)	% Nivel óptimo de emulsión	Nivel óptimo de emulsión (mts)	Volumen total tanque (m3)	Capacidad total (litros)	Volumen óptimo del tanque (m3)
TRE001	2,3 x 2 x 1,1	75%	0,83	5,06	5060	3,795
TRE006	3 x 2,3 x 1,3	70%	0,91	8,97	8970	6,279
TRE007	1,7 x 1,35 x 1,1	75%	0,83	2,52	2524,5	1,89

Máquina	Capacidad óptima del tanque (L)	% Nivel mínimo de emulsión	Nivel mínimo de emulsión (mts)	Volumen mínimo del tanque (m3)	Capacidad Mínima del tanque (L)
TRE001	3795	0,45	0,50	2,28	2277
TRE006	6279	0,4	0,52	3,59	3588
TRE007	1893,38	0,5	0,55	1,26	1262,25

Observaciones: l = Largo a = Ancho h = Altura

*Nota.* En la tabla anterior, se presentan los diferentes parámetros de trabajo de la emulsión según la capacidad de cada tanque, registrándose el nivel óptimo de emulsión, capacidad, volumen y los niveles mínimos permitidos en la operación en cada tanque. *Fuente.* Autoría Propia.

#### ***Análisis y control de roturas de hilos de cobre en el área de trefilado***


Una de las principales causas en los fallos por roturas de hilos de cobre en el área de trefilado son los fallos por causas sin determinar o identificar, este fallo o rotura se clasifica de


esta forma por el poco conocimiento y estudio por parte no solo de operadores sino de las áreas de apoyo sobre este tema que son las roturas en los hilos de cobre en dicho proceso.

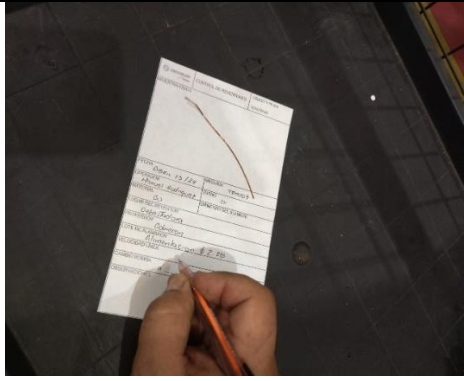



A partir de este estudio, se pretende dar algunas pautas que permitan no solo al equipo de trefilado sino al equipo de producción el poder determinar la causa raíz de las fallas, poderlas clasificar según su rotura e implementar un estándar de registro de estas, con el fin de poder atacar futuras desviaciones de una forma más puntual y eficiente y no dejarlas en el aire como una falla sin determinar, sino por el contrario, poderla encasillar en las fallas ya existentes o en una nueva causa de rotura. En la figura 39, se presenta un formato de actividades para estandarizar la toma, registro y control de las roturas de hilos de cobre en el área de trefilado.

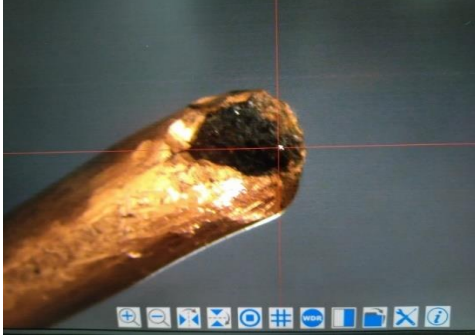
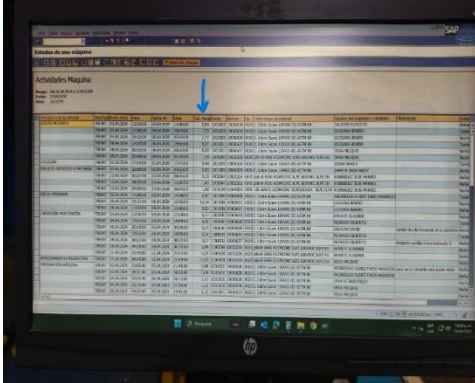
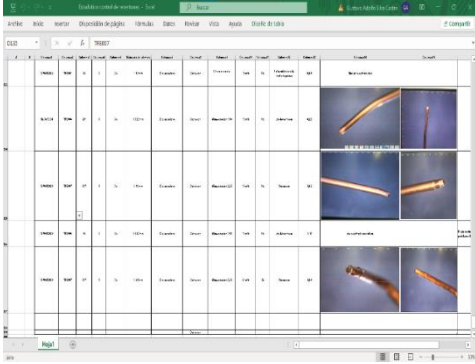

### Figura 39

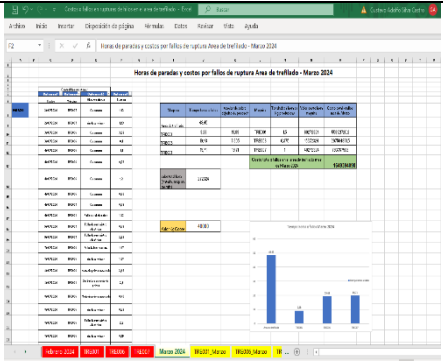
*Estandarización de actividades registro y control de muestras de roturas área de trefilado*

	<b>FORMATO DE ACTIVIDADES DE TOMA DE MUESTRAS, REGISTRO, CONTROL Y COSTOS DE ROTURAS DE HILOS EN EL ÁREA DE TREFILADO</b>	Código:
		Versión: 01
		Hoja: 1 de 2

Ítem	Registro Fotográfico	Actividad
1		<p>Ocurrida la rotura de hilo en la trefiladora de cobre, el operador procederá a retirar la muestra del alambre de cobre donde ocurrió la rotura.</p>

Ítem	Registro Fotográfico	Actividad
2		<p>El operador de la trefiladora de cobre llenara el formato de Control de Roturas código F-PR-099 en el cual registrara la fecha, máquina, nombre del operario, turno, lugar de la rotura, material, observaciones entre otros datos, adjuntando la muestra de la rotura del hilo.</p>
3		<p>Una vez diligenciado el formato de roturas, el operador de trefilado procederá a dejar dicho formato en la sala de SQDCE del área, en la urna control de reventones.</p>
4		<p>El personal encargado del registro y control de roturas de hilos, tomara el formato de control de roturas del área de SQDCE de trefilado junto con la muestra y la llevara al equipo de Proyector de perfiles.</p>
5		<p>En el proyector de perfiles el personal encargado ampliara la muestra para su análisis, determinando las posibles causas de la rotura del hilo de cobre y su clasificación.</p>

Ítem	Registro Fotográfico	Actividad
6		<p>La muestra de la rotura de hilo se ampliará y se llevará registro fotográfico, el cual alimentará la base de datos de registro de roturas del área de trefilado: “Estadístico control de reventones”</p>
7		<p>Realizado el análisis de la muestra, el personal encargado ubicará en el sistema SAP el tiempo total registrado en dicha parada por fallo del proceso, el cual alimentará la base de datos de registro de roturas del área de trefilado: “Estadístico control de reventones” que le permitirá calcular el costo de la no calidad por fallos de procesos (roturas de hilos).</p>
8		<p>Se procede a realizar el registro de la información, adjuntar el registro fotográfico y el tiempo total de la parada por fallos en el proceso en el archivo Excel “Estadístico control de reventones”.</p>
		<p>Registrados los datos, el formato de control de reventones junto a su muestra serán archivados en un folder el cual permitirá tener un registro histórico en físico de los fallos de procesos ocurridos en el área de trefilado por las roturas de hilos de cobre en las máquinas trefiladoras.</p>

Ítem	Registro Fotográfico	Actividad
9		<p>Al terminar cada mes se procede a hallar el costo total de la no calidad por fallos en el proceso (rotura de hilos) por máquina, determinando el # de fallos, las horas utilizadas y su costo de no fabricación.</p>

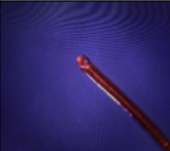

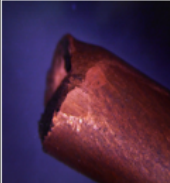
<b>OBSERVACIONES</b>		Diseño: Gustavo Silva
		Aprobó: Wilfer Espinel
		Octubre 2024

Nota. Formato de procedimiento: toma y registro de roturas área de trefilado. Fuente. Autoría Propia.

A continuación, se presenta el registro en la base de datos de roturas para ser implementado en el área de trefilado.

**Figura 40**

*Base de datos control de roturas de hilos de cobre*

Fecha	Máquina	Operario	Turno	Material	Diámetro	Lugar de la Rotura	Proveedor	Lote del alambren	Velocidad	Cambio de alimentación	Observaciones	Tiempo (h)	Registro fotografico
4/09/2024	TRE006	211	1	Cu	0,322 mm	Devastadora	indecó	Alimentacion 1,98	13 m/s	No	Cu poroso	1,05	
4/09/2024	TRE006	211	1	Cu	0,322 mm	Devastadora	indecó	Alimentacion 1,98	13 m/s	No	Cu poroso	1,33	
6/09/2024	TRE001	444	3	Cu	1,98 mm	Devastadora	indecó	Chipa de cobre	10 m/s	No	falla por soldadura de materia prima	1,95	

Fuente. Autoría Propia.

En esta figura, se observa la base de datos de roturas en la cual se realiza el registro de todos los fallos por roturas de hilos de cobre ocurridos en el área de trefilado, datos registrados en el formato físico de control de roturas como máquina de ocurrencia del fallo, turno, operario, tipo de alimentación, velocidad de la línea, lugar de la rotura, causa, tiempo y registro fotográfico de esta entre otros datos.

### **Clasificación por tipos de fallos por roturas o fracturas en hilos de cobre**

Es de gran importancia el poder conocer mediante el registro fotográfico y su análisis en el microscopio las diferentes formas en que los alambres o hilos de cobre fallan en el proceso de trefilado. Este análisis permite de forma objetiva identificar la forma de las fallas y las posibles causas que las generan, de esta manera reducir el campo de acción en la identificación de las diferentes variables que originan estas fallas, proporcionando información puntual de los aspectos a revisar en la generación de estas, con el fin de mejorar el proceso productivo, optimizar la calidad del producto y disminuir los tiempos y el número de fallos por roturas en las maquinas trefiladoras.

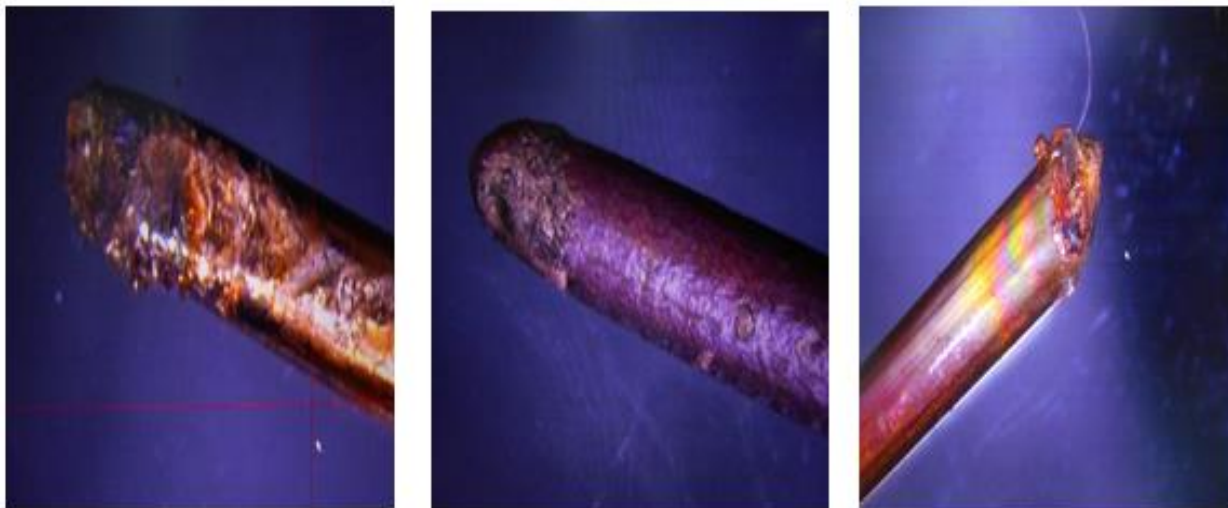
Para una mayor comprensión y control de las roturas de hilos de cobre, se elabora la siguiente clasificación según el tipo de fallo.

#### ***Roturas por extremos fundidos***

Este tipo de rotura como se observa en la figura 41, es causado por arcos eléctricos, suelen suceder en el horno de recocido. Alguno de los factores que inciden en este tipo de fallo es el des tensionamiento de la línea en los bobinadores, exceso de agua o falta de agua en las recamaras del horno de recocido o demasiado voltaje y corriente de recocido.

## Figura 41

### *Rotura por extremos fundidos*



*Fuente.* Autoría Propia.

### ***Roturas por soldadura***

El proceso de la soldadura en calor se presenta para dar continuidad al proceso productivo en trefilado, se emplea en la mayoría de las veces empalmando la chipa de cobre de alimentación que se está trabajando con la siguiente chipa de alambón, este tipo de soldadura se realiza en la trefiladora primaria con diámetros mayores de 5,35 mm hasta diámetros de 8 mm que es el diámetro que tiene el alambón de cobre.

Estas roturas por soldadura como se puede observar en la figura 42, se deben principalmente por mala preparación de las puntas a soldar, demasiada o poca corriente al momento de soldar, mala eliminación de la rebaba en la soldadura, extremos del alambón con alta dureza.

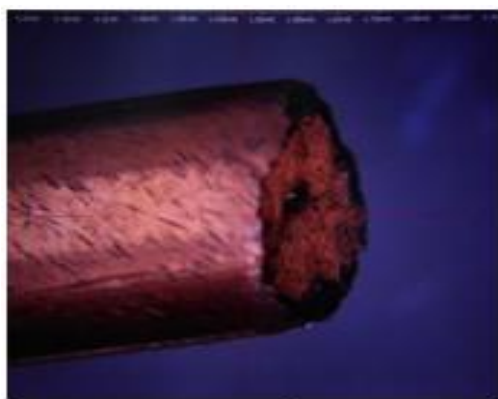
La rotura de cuello hacia abajo puede darse por las anteriores condiciones, pero sus dos características principales son que la zona de la soldadura queda con pequeños huecos y muy

dúctil, razón por la cual el alambre sufre un mayor estiramiento y estos huecos internos inician la rotura.

La rotura por incrustaciones en la soldadura se debe a suciedad o impurezas que quedan en las superficies a soldar, lo que genera cavidades y perforaciones con rastros de impurezas que inician la rotura.

### **Figura 42**

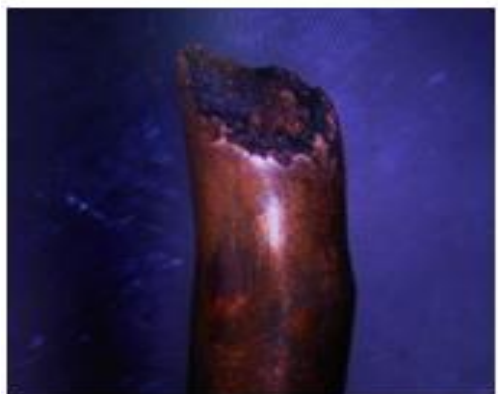
#### *Roturas por soldaduras*



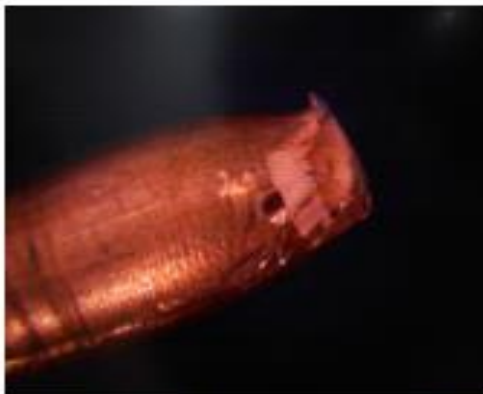
Rotura plana



Rotura boca de pez



Rotura por incrustaciones



Rotura de cuello hacia abajo

*Fuente.* Autoría Propia.

#### ***Roturas por tensión***

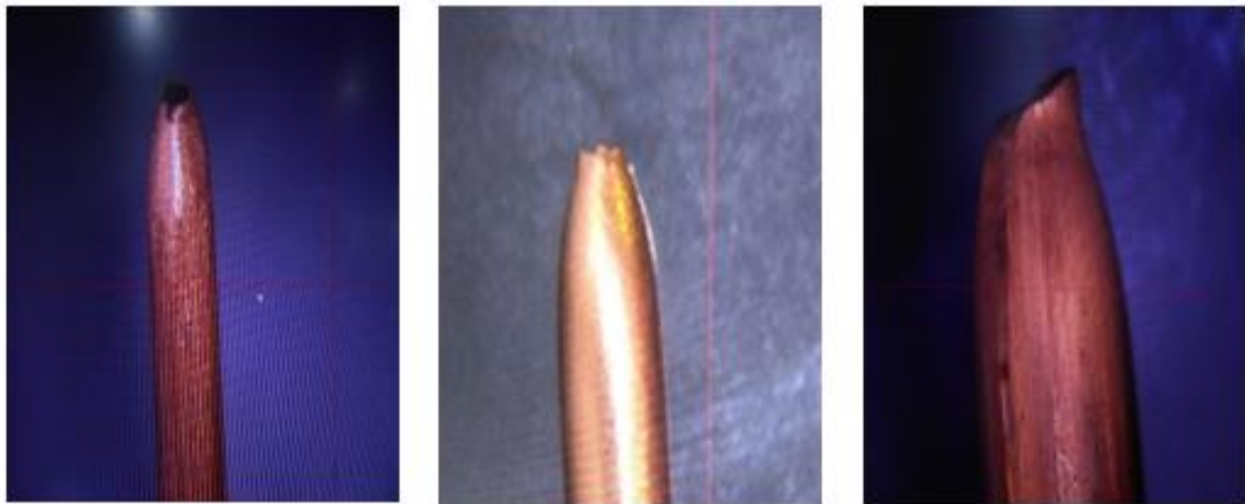
Las roturas por tensión se presentan cuando la fuerza de estirado que ejerce los cabrestantes, anillos de tiro o poleas sobrepasa los límites de resistencia del alambre. Se

caracteriza por un alargamiento del alambre con reducción simétrica de área y en cuya punta se forma un hueco al momento de la rotura como se observa en la figura 43.

Estas roturas se pueden producir por problemas de deslizamiento, acumulación de partículas (finos) en las hileras lo que va generando una obstrucción al paso del alambre por estas, cabrestantes o anillos desgastados, menor número de vueltas del alambre en los cabrestantes lo que genera mayor fuerza de tiro a arrastre para que el hilo se deslice sobre ellos. Las roturas por tensión también se pueden producir por una parada repentina de la trefiladora, como por ejemplo una parada de emergencia, un daño mecánico o eléctrico que para inmediatamente la maquina o un fallo en el suministro eléctrico.

### **Figura 43**

#### *Roturas por tensión*



*Fuente.* Autoría Propia.

#### *Roturas por torsión*

Las roturas por torsión o enroscamiento como se observa en la figura 44, se producen cuando la fuerza de torsión en un alambre en rotación supera los límites de ductilidad de este. Esta rotura se presenta por desalineamiento de los hilos en los cabrestantes o poca lubricación lo

que genera que los alambres se interpongan entre sí generando aprisionamiento entre los mismos hilos generando la rotura. También se presentan cuando la alimentación o materia prima de las trefiladoras se encuentra mal bobinada generando enredos o nudos los cuales se frenarán al paso por las cerámicas guías o hilera de entrada a la desbastadora.

En las trefiladoras de multihilos, la rotura de un hilo en la desbastadora generará que este hilo se enrede con los hilos contiguos generando la rotura de varios hilos al mismo tiempo.

#### **Figura 44**

##### *Roturas por torsión*



*Fuente. Autoría Propia.*

##### ***Rotura por estallido central - copa y cono***

Las roturas por estallido central o conocidas como cono copa (cone y Cup Break), es una rotura que se caracteriza por presentar en un extremo un orificio central en forma de copa y en el otro extremo una punta en forma de cono como se observa en la figura 45. Estas roturas se presentan por enhebrados en donde se presentan reducciones de área pequeñas, dados o hileras

desgastadas, pero su mayor causa se relaciona a la presencia de huecos internos, gases atrapados en el alambre en el proceso de fundición o a la presencia de micropartículas y óxidos de cobre.

### **Figura 45**

*Rotura por estallido central - copa y cono*



*Fuente. Autoría Propia.*

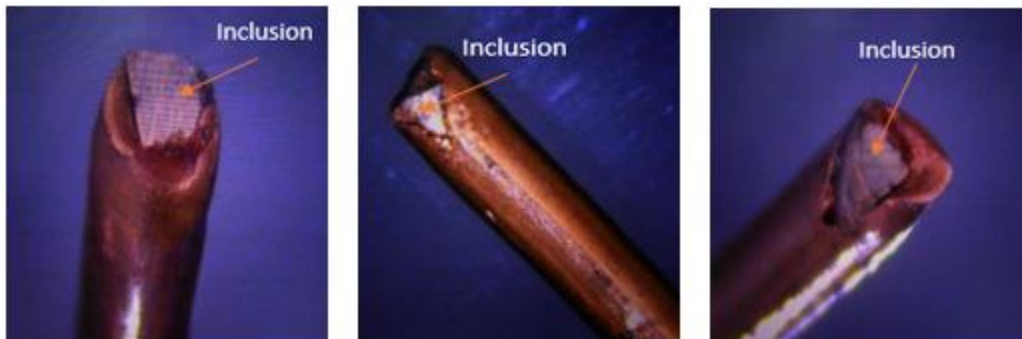
### ***Roturas por inclusiones presentes***

Este tipo de rotura suele suceder en el laminado y rolado en el proceso de compactación del alambón después del proceso de fundición o también en el trefilado en la operación del desbastado, se caracteriza por el desprendimiento de partículas ferrosas al paso del alambre por los cabrestantes, poleas y rodillos o a partículas (finos de cobre, virutas astillas) que se acumulan en la entrada de los dados o hileras de trefilación.

Estas partículas magnéticas o no magnéticas se incrustan en el alambre debajo de su superficie, lo que a la postre generara la rotura como se observa en la figura 46. En el proceso de trefilado primario (TRE001) puede que estas incrustaciones o inclusiones no afecten el proceso, pero si se verá altamente reflejado en el proceso de trefilado de finos e intermedios (TRE006 y TRE007).

## Figura 46

### *Roturas por inclusiones presentes*



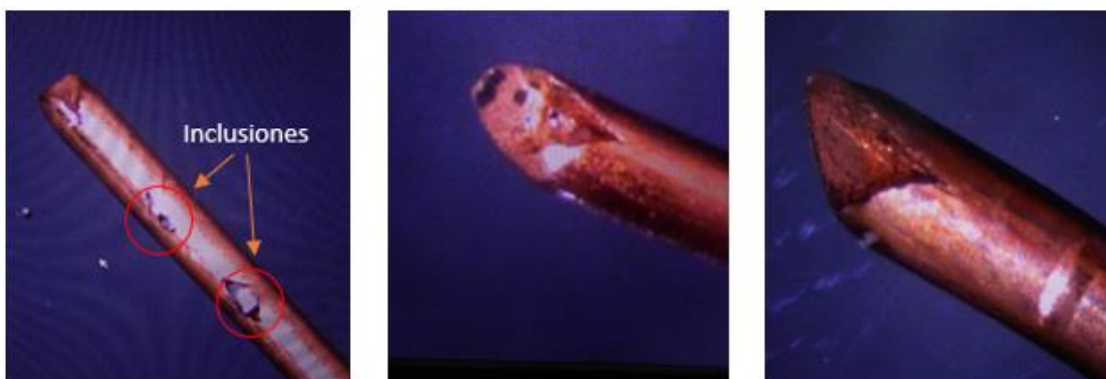
*Fuente.* Autoría propia.

### *Roturas por inclusiones ausentes*

Esta rotura se caracteriza por tener un corte inclinado en el alambre (aproximadamente 45 grados) y con un hueco de poca profundidad hacia un costado de este. La formación de la cavidad se debe a una inclusión presente en el alambre de cobre que al momento de la fractura se desprende o se cae (figura 47). Las causas de estas roturas son las mismas a las roturas por inclusiones presentes. La formación de la cavidad se debe a una inclusión presente en el alambre de cobre que al momento de la fractura se desprende.

## Figura 47

### *Roturas por inclusiones ausentes*



*Fuente.* Autoría Propia.

*Roturas por problemas de laminado en caliente (astillas y costuras)*

**Figura 48**

*Roturas por problemas de laminado en caliente (astillas y costuras)*



*Fuente. Autoría Propia.*

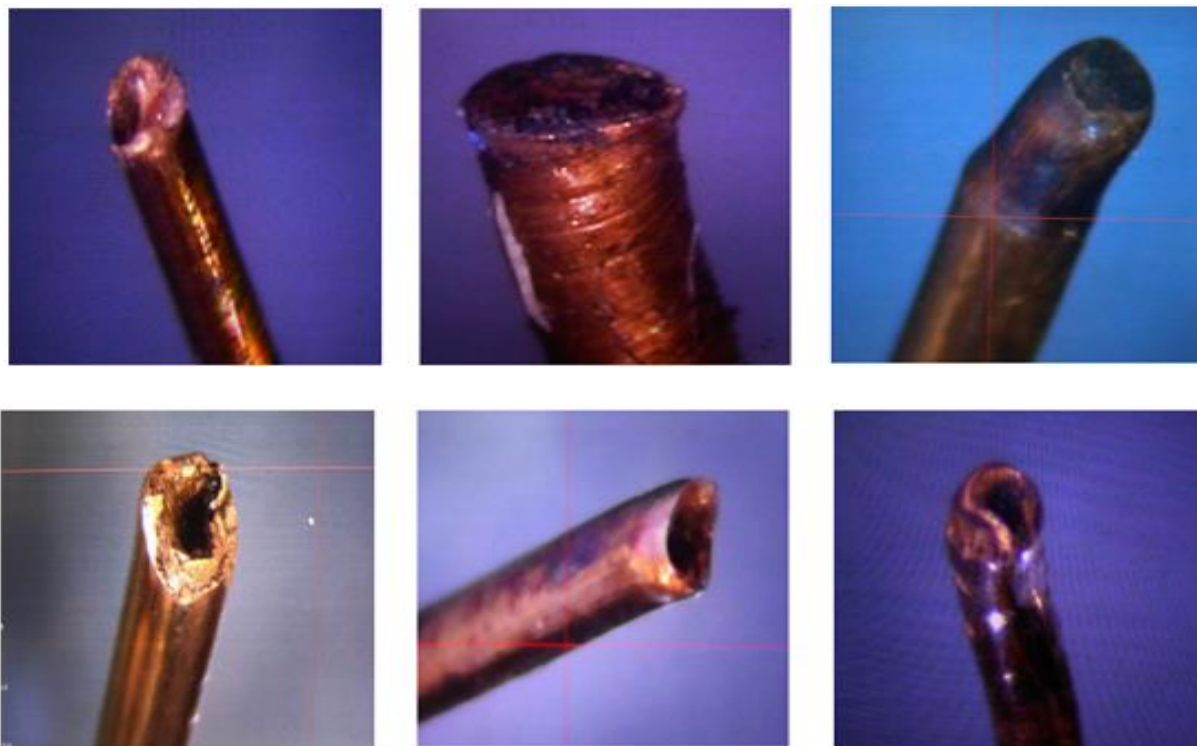
Las roturas por astillas y costuras como se observan en la figura anterior, se deben a la presencia de óxidos de cobre que se forman durante el proceso de fundición del cobre o en su proceso de laminado o rolado. Estos óxidos forman grietas que hacen que el alambre se parta y se separe a lo largo del alambre. Las costuras a diferencia de las astillas son grietas que se presentan cerca al centro del alambre, mientras las astillas se forman a un costado de este.

### ***Roturas por macro porosidades***

La macro porosidad como se observa en la figura 49, se da por la rotura de un alambre que en su interior contiene acumulación de gases, oxido de cobre o impurezas en el proceso de fundición de la colada continua, este tipo de rotura puede ser centrada o descentrada y se pueden asociar con las roturas tipo copa.

**Figura 49**

*Roturas por macro porosidades*



*Fuente. Autoría Propia.*

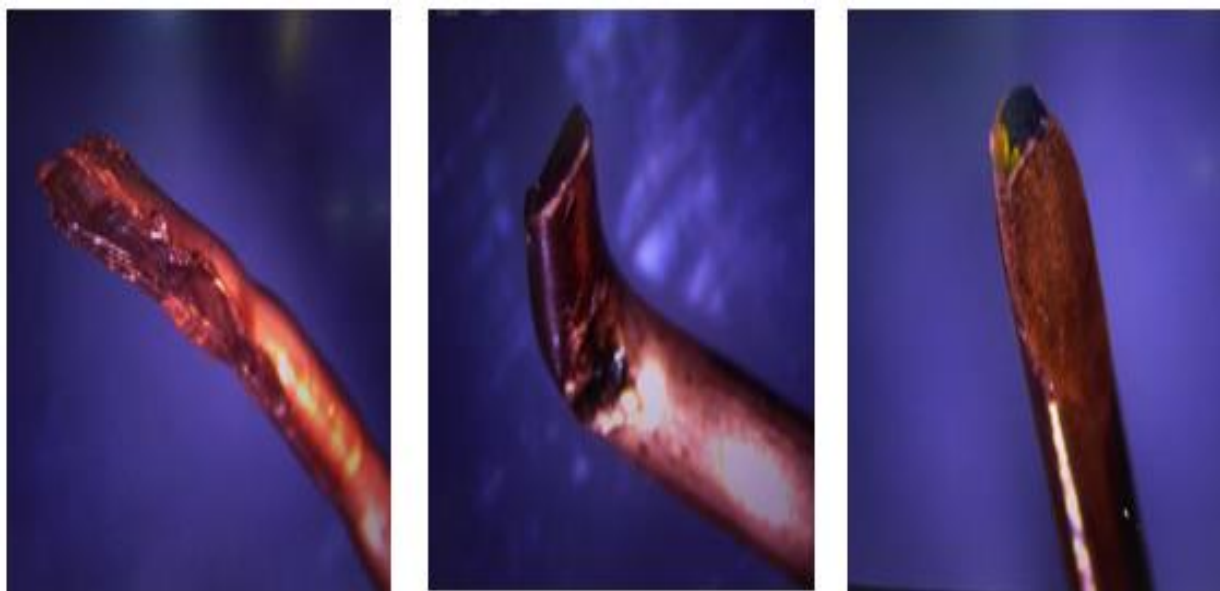
### ***Roturas por hilo de cobre maltratado***

Este tipo de rotura se presenta por maltrato del alambre de cobre como materia prima. Se debe por aplastamiento o cizallamiento (cortes) de los hilos de cobre por golpes ya sea en su traslado, almacenamiento o manipulación en la misma área de trefilado. (Ver figura 50).

Las roturas por materia prima maltratada se presentan cuando el alambre va a pasar por la primera hilera de desbaste, ya que el sobredimensionamiento del hilo de cobre y su fragilidad en ese punto genera la rotura del alambre.

### **Figura 50**

#### ***Roturas por hilo de cobre maltratado***



*Fuente.* Autoría Propia.

### **Costos de la no calidad en el área de trefilado por fallos de rotura en hilos de cobre**

Uno de los principales factores que afecta la eficiencia e impacta en los resultados económicos en una compañía son los tiempos muertos o paradas no programadas en los procesos productivos. El área de trefilado en Nexans Colombia, planta Bucaramanga, no es la excepción. En el presente estudio que se realizó durante ocho meses en las tres trefiladoras de la línea de

cobre, se registraron 703,98 horas de paradas por estos fallos, lo que equivale en pocas palabras a tener una trefiladora parada casi un mes sin producir (horas que tiene un mes = 720), lo que se convierte en un tiempo de pérdida considerable, pero a la vez se vuelven en una gran oportunidad de mejora siempre y cuando el equipo de trefilado y las áreas de apoyo desarrollen estrategias encaminadas a disminuir estos tiempo y con ello minimizar los costos asociados a estas paradas no programadas.

De lo anteriormente planteado surge una pregunta: ¿Cuánto deja de producir la compañía? ¿Cuál es el costo de la no producción por estos tiempos de paradas no programadas por los fallos de rotura en el área de trefilado?

Se considera que, si los tiempos por fallas en un proceso son largos o prolongados, la cantidad de producto o piezas dejadas de fabricar también tendrán un impacto alto en los índices económicos de la compañía. Según García, (1997). Afirma que:

Estos paros representan un costo de oportunidad para la compañía por dejar de producir.

En realidad, la empresa no gasta ni más luz ni más material, pero lo que si gasta es tiempo. Este costo es un costo imaginario que se podría ver de la siguiente manera: El tiempo improductivo gastado en volver a arrancar la maquina cada vez que se reviente el alambre multiplicado por la tasa de producción de cada maquina nos da los kilogramos o libras que se dejan de producir y por ende se dejan de vender, por lo tanto, se dejan de percibir ingresos (P. 65).

En la tabla 28, se presentan las horas de paradas no programadas por fallos de rotura de hilos de cobre en cada trefiladora y su costo de no calidad, así mismo, se presenta el valor de las toneladas de cobre que se dejan de producir por estos fallos.

**Tabla 28***Costos de no calidad en la TRE001*

Mes	Número de fallos por Roturas	Tiempo Horas por Fallos	TRE001		
			Valor Total por Fallos (No calidad)	Toneladas No producidas por fallos	Costo de la No Producción
Febrero	15	21,31	6.464.878,63	31,965	1.043.195.914
Marzo	6	9,26	2.809.233,98	13,89	471.017.385,9
Abril	7	10,42	3.161.146,66	15,63	570.145.336,7
Mayo	6	6,45	1.956.755,85	9,675	381.262.101,5
Junio	3	3,24	982.928,52	4,86	190.551.224,2
Julio	9	7,54	2.287.432,42	11,31	433.596.643,5
Septiembre	2	5,1	1.547.202,3	7,65	307.308.021
Octubre	7	7,97	2.417.882,81	11,96	493.385.891,8
<b>Total</b>	<b>55</b>	<b>71,29</b>	<b>21.627.461,17</b>	<b>106,94</b>	<b>3.890.462.519</b>

*Fuente.* Autoría Propia.

En la tabla anterior, se presenta el número de fallos por rotura mes a mes en la TRE001, así mismo, se presenta el número de horas por fallos, el costo de no calidad y la cantidad de toneladas dejadas de producir a raíz de estos fallos. Se observa que en la TRE001 el número de horas por paradas no programadas es de 71,29 horas con un costo de no calidad de 21'627.461,17 millones de pesos y con una cantidad de 106,94 toneladas de cobre dejadas de producir.

**Tabla 29***Costos de no calidad en la TRE006*

Mes	Número de fallos por Roturas	Tiempo Horas por Fallos	TRE006		
			Valor Total por Fallos (No calidad)	Toneladas No producidas por fallos	Costos de la No producción
Febrero	34	51,71	15.738.817,57	19,39	632.844.447,5
Marzo	17	19,48	5.929.069,16	7,305	247.716.487
Abril	22	21,07	6.413.012,69	7,90	288.218.863,8
Mayo	35	45,2	13.757.388,4	16,95	667.947.557,7
Junio	25	54,49	16.584.957,83	20,43	801.167.917,3
Julio	126	149,76	45.582.001,92	56,16	215.3031.609
Septiembre	62	65,79	20.024.304,93	24,67	991.068.367,8
Octubre	38	31,42	9.563.211,14	11,78	486.266.772,9
<b>Total</b>	<b>359</b>	<b>438,92</b>	<b>133.592.763,6</b>	<b>164,60</b>	<b>6.268.262.023</b>

*Fuente. Autoría Propia.*

En la tabla anterior, se presenta el número de fallas por rotura mes a mes en la TRE006, así mismo, se presenta el número de horas por fallos, el costo de no calidad y la cantidad de tonelada dejadas de producir a raíz de estos fallos. Se observa que en la TRE006 el número de horas por paradas no programadas por estos fallos es de 438,92 horas lo que equivale al 62,34 % del total de las horas por fallos en el área, con un costo de no calidad de 133'592.763,6 millones de pesos y con una cantidad de 164,6 toneladas de cobre dejadas de producir.

**Tabla 30***Costos de no calidad en la TRE007*

Mes	TRE007				
	Número de fallos por Roturas	Tiempo Horas por Fallos	Valor Total por Fallos (No calidad)	Toneladas No producidas por fallos	Costo de la No Producción
Febrero	18	42,15	12.808.120,5	42,15	1.375.589.168
Marzo	12	19,71	5.989.277,7	19,71	668.376.722,5
Abril	15	25,28	7.681.833,6	25,28	92.2154.453,7
Mayo	11	21,47	6.524.088,9	21,47	846.066.906,4
Junio	0	0	0	0	0
Julio	26	46,74	14.202.883,8	46,74	1.791.892.760
Septiembre	20	28,28	8.593.443,6	28,28	1.136.035.403
Octubre	8	10,14	3.081.241,8	10,14	407.333.769
<b>Total</b>	<b>110</b>	<b>193,77</b>	<b>58.880.889,9</b>	<b>193,77</b>	<b>7.147.449.184</b>

*Fuente. Autoría Propia.*

En la tabla anterior, se presenta el número de fallas por rotura mes a mes en la TRE007, así mismo, se presenta el número de horas por fallos, el costo de no calidad y la cantidad de tonelada dejadas de producir a raíz de estos fallos. Se observa que en la TRE007 el número de horas por paradas no programadas por estos fallos es de 193,77 horas con un costo de no calidad de 58'880.889,9 millones de pesos y con una cantidad de 193,77 toneladas de cobre dejadas de producir.

**Figura 51**

*Costos de la no calidad en el área de trefilado*



*Nota.* En la figura anterior, se presenta el costo total de la no calidad en el área de trefilado durante el desarrollo de este estudio (8 meses), cuyo valor total es de 214.101.114,71 COP, lo que equivaldría a un costo promedio mensual en el área de 26.762.639,3 COP y el número de horas por fallos en cada maquina con su porcentaje frente al total de horas registradas por fallos en el área que es de 703,98 horas totales, lo que equivale en un promedio a 88 horas mensuales (3,66 días). *Fuente.* Autoría Propia.

En el Apéndice B, se presenta el desglose de los costos de no calidad para el cálculo de los costos por maquina trefiladora, así mismo, en el Apéndice C, se presenta el valor del cobre por mes (tonelada métrica según la bolsa de metales) para el cálculo de la producción dejada de fabricar.

### **Ineficiencia en los siguientes procesos productivos a causa de las roturas de hilos de cobre en el proceso de trefilado**

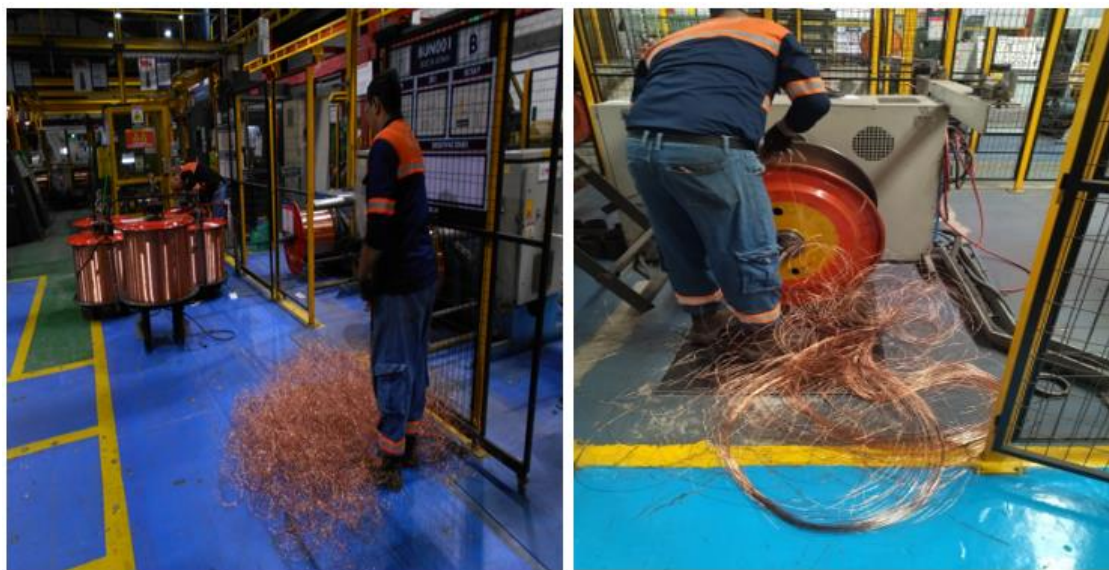
Las roturas de hilos de cobre en el proceso de trefilado no solo afecta este proceso sino a los procesos siguientes como por ejemplo el proceso de buncheado, generando allí también

costos por las fallas provenientes de trefilación como paradas no programadas que afectan la eficiencia productiva de estas máquinas (OEE), costos por Scrap de materia prima ya que en esta área es donde se procede a retirar los tramos defectuosos por falta de hilos de cobre por roturas provenientes del área de trefilado y demás costos asociados a la no calidad en el proceso.

A continuación, se describe algunas paradas registradas en el área de bunchedo debido a las roturas provenientes del área de trefilado.

### **Figura 52**

*Paradas no programadas en el área de bunchedo por roturas de hilos en el proceso de trefilado*



*Nota.* En la figura anterior, se observa a los operarios del área de Bunchedo retirando los tramos defectuosos provenientes del área de trefilado, una vez retirado el tramo se procede a soldar hilo por hilo y se le da continuidad al proceso. *Fuente.* Autoría Propia.

Es de importancia la buena práctica por parte de los operadores del área de trefilado la correcta identificación de los tramos defectuosos en las carretas y en las tarjetas de identificación del producto. Esta acción les permitirá a los operarios de los procesos siguientes tener la

precaución y cuidados necesarios cuando se lleguen a estos tramos y poder parar de forma anticipada el proceso para su respectivo arreglo.

**Tabla 31**

*Paradas no programadas en el área de buncheado por roturas de hilos en el proceso de trefilado*

Fallos del proceso de trefilado en el área de Buncheado						
Fecha	Máquina	Referencia	# de Hilos por Carreta	Scrap Cu (kg)	Tiempo (Horas)	Valor Scrap Cobre (COP)
7/09/2024	Bun004	Flexible 18	5	2	0,95	80.341,97
7/09/2024	Bun008	Flexible 14	13	4,5	0,38	180.769,42
7/09/2024	Bun001	350 kcmil Flex	16	4,3	0,68	172.735,23
8/09/2024	Bun004	Flexible 18	5	2,5	1,11	100.427,46
9/09/2024	Bun001	350 kcmil Flex	16	3,5	0,3	140.598,44
10/09/2024	Bun002	500 kcmil Flex	16	4,5	1,05	180.769,42
18/09/2024	Bun004	4x10 flexible	16	4,5	0,56	180.769,42
18/09/2024	Bun004	4x10 flexible	16	4,3	0,3	172.735,23

*Fuente.* Autoría Propia.

En la tabla anterior, se presenta el registro de algunas paradas no programadas en el área de buncheado por los fallos de roturas de hilos provenientes del área de trefilado, se puede observar el tiempo empleado en cada parada, los kilogramos de cobre generados como Scrap o desperdicio y el valor de este Scrap en pesos colombianos. No se detalla el valor hora y costos de no calidad, pero se puede concluir que por el número de fallos de hilos de cobre en el área de trefilado los costos de no calidad en el proceso de buncheado son considerables.

## **Datos finales**

El desarrollo de este estudio, ha permitido comprender la importancia que tiene cada una de las variables analizadas en el funcionamiento óptimo y eficiente en el proceso de trefilación encaminado a la reducción de paradas no programadas por fallos de roturas de hilos de cobre y con ello la reducción de costos asociados a estas fallas.

La lubricación se convierte en uno de las principales variables a controlar, al inicio del registro de datos en el mes de febrero se pudo observar que por la falta de un control eficiente los porcentajes grasos de cada trefiladora se encontraban demasiados altos respecto al límite superior de concentración graso dispuesto para el trabajo en cada máquina, lográndose disminuir en el mes de octubre de forma considerable el porcentaje graso en la TRE007 en un 51,78% y en la TRE006 en un 0,29%, no obstante en la TRE001 de febrero a octubre se presentó un incremento del 5,3 % respecto al límite superior de concentración graso estandarizado para esta máquina.

Ante esto, se hace necesario que la adición de lubricante a cada máquina se realice de forma medida y gradual con el fin de mantener los porcentajes grasos en sus límites de concentración de trabajo estandarizados y no agregar cantidades en exceso de estos, ya que su valor comercial de adquisición por ser productos importados y de alta calidad son altos (1132,2 € UNOPOL 5 70 Y 1306,3 USD RA 400 CPD por caneca de 55 Galones), lo que equivale en pesos colombianos aproximadamente a 4.800.000 COP por caneca (ver Apéndice E: Tabla de Lubricantes).

Los fallos por roturas de hilos de cobre registrados mes a mes en las tablas de fallos por roturas en el área de trefilado (tabla 11 a tabla 18), nos proporcionan los datos para calcular el número de roturas por tonelada de cobre trefilada por máquina y una proyección inicial de

roturas que nos sirva como referente en el cálculo del % de roturas en un futuro por máquina (tabla 33), de acuerdo a las cantidades de cobre trefilado por máquina mensualmente.

**Tabla 32**

*Cálculo de Toneladas trefiladas de cobre por Rotura de hilos de cobre*

Mes	Toneladas x Rotura		
	TRE001	TRE006	TRE007
Febrero	14,067	1,603	8,467
Marzo	47,692	2,52	14,415
Abril	51,461	3,099	18,285
Mayo	49,222	2,674	<b>21,726</b>
Junio	57,484	2,524	-----
Julio	19,783	0,583	4,796
Septiembre	<b>121,434</b>	2,205	2,643
Octubre	59.143	<b>3,235</b>	16,996
Número de roturas	55	359	110
<b>Total de Roturas Área</b>			<b>524</b>

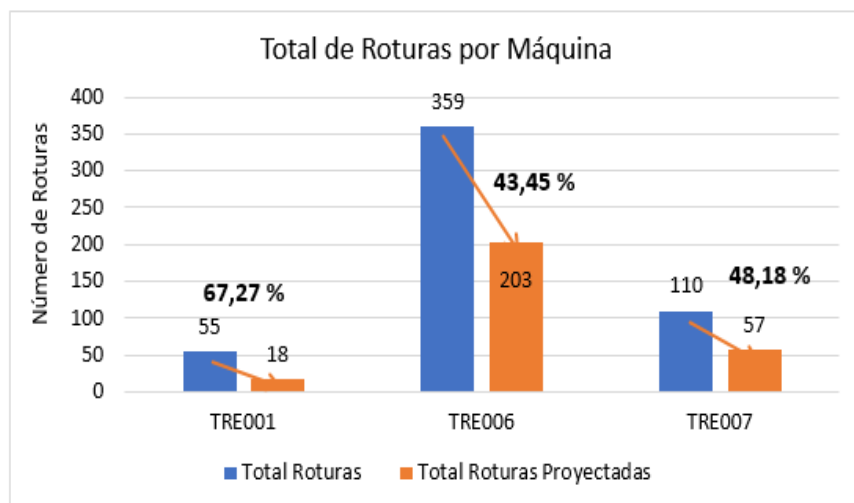
*Fuente.* Autoría propia.

**Tabla 33***Proyección de roturas por tonelada de cobre trefilado*

Máquina	Toneladas Totales Trefiladas	Toneladas por Rotura	Roturas Totales Actuales	Roturas Totales Proyectadas
TRE001	2160,08	121,43	55	18
TRE006	655,30	3,24	359	203
TRE007	1225,30	21,73	110	57
<b>Total</b>			<b>524</b>	<b>278</b>

*Nota.* En la tabla anterior, se registran las proyecciones de roturas totales en un lapso de tiempo igual al tiempo de realización de este estudio (8 meses), tomando como referencia las toneladas por rotura registradas en la tabla 32. Para el cálculo de esta proyección se toma el mayor dato registrado mensualmente por máquina de toneladas trefiladas de cobre por rotura. *Fuente.*

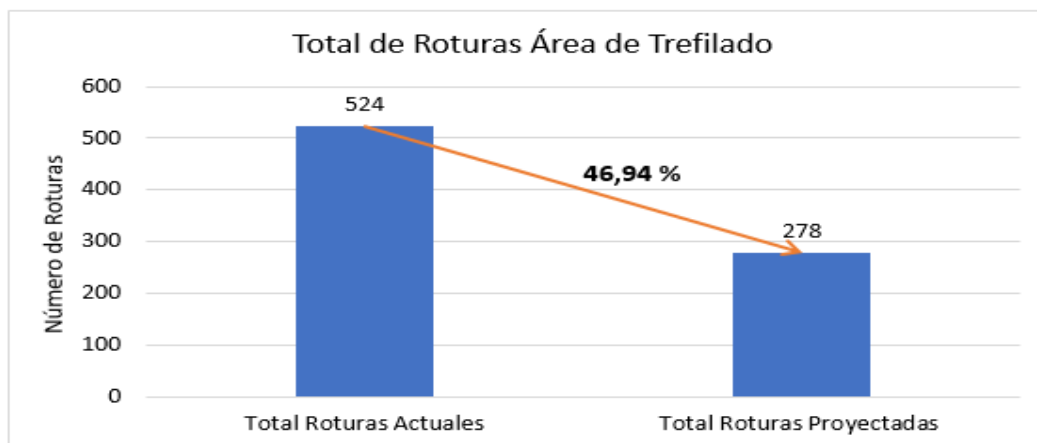
Autoría Propia.

**Figura 53***Total de roturas proyectadas por maquina en el área de trefilado*

*Fuente.* Autoría Propia.

**Figura 54**

*Total de roturas proyectadas en el área de trefilado*



*Fuente.* Autoría Propia.

En las figuras 53 y 54, se observa las proyecciones trazadas en cuanto al número de roturas en cada trefiladora y el total de roturas en el área. De acuerdo con la información calculada para un periodo de tiempo igual a tiempo de realización de este estudio se espera poder reducir el número de roturas en el área de 524 a 278, lo que equivaldría a una reducción de 46,94%. Aunque los porcentajes de reducción proyectados tanto en la TRE001 Y TRE007 son de un 67,27% y un 48,18% respectivamente el resultado favorable se encuentra en la trefiladora TRE006 que, aunque tiene la menor reducción proyectada de roturas en un 43,45% su impacto es más óptimo para la eficiencia del proceso en el área de trefilado, presupuestando un promedio en el área de 23 roturas mensuales en esta máquina.

A partir de estas proyecciones y con la formulación del plan de acción de reducción de costos de no calidad por roturas de hilos de cobre en el proceso de trefilado se espera que este promedio de roturas mensuales en el área disminuya gradualmente a un valor óptimo. “El valor deseado en todo proceso de trefilado de hilos de cobre sería el de cero fallos por roturas”.

#### **Fase 4. Formulación del plan de acción de reducción de costos de no calidad por roturas de hilos de cobre en el proceso de trefilado**

Nexans Colombia, en el cumplimiento de su objetivo principal de electrificar el futuro, ha implementado y desarrollado programas encaminados a la mejora continua de todos sus procesos. La búsqueda de estrategias enfocadas a la optimización de sus recursos, la calidad y eficiencia total en todos sus procesos productivos y con ello sus productos, la reducción de costos y muchas más estrategias han llevado a Nexans Colombia a ser actor importante en el desarrollo de la electrificación no solo a nivel nacional sino internacional llegando a los mercados de Centro y Suramérica.

La formulación de planes de acción en el área de trefilado que minimicen los fallos por roturas de alambres de cobre y su implementación contribuirán a disminuir de gran forma las paradas no programadas en el área debido a las roturas de hilos, disminuyendo los costos de no calidad y los tiempos no programados a raíz de estos fallos, a su vez, incrementando no solo el OEE y la eficiencia del proceso sino de los procesos siguientes. Según Villavicencio et al, (2017), señala: “El plan de mejora continua es una herramienta muy útil para las empresas que desean mejorar sus servicios, productos o procesos lo que les va a permitir permanecer en el mercado, crecer y ser competitivos” (p. 55).

Basados en el diagnóstico inicial realizado en el área de trefilado, se presenta a continuación la formulación del plan de acción para disminuir los costes de la no calidad y con ello las paradas no programadas por fallos de roturas en los hilos de cobre en este proceso:

Capacitación periódica (mensual) al personal operativo del área de trefilado en temas de mantenimiento de primer nivel, metodología de 5 S, metodología SQDCE, aspectos técnicos de las trefiladoras y del área en general. No se puede suprimir el factor humano en el proceso

productivo, pero si se puede minimizar sus errores y aumentar sus destrezas mediante la adquisición de conocimientos que le de valor técnico y desarrollo de habilidades las cuales le permitan conocer mejor su proceso y con ello ser proactivo ante las diferentes situaciones de mejora en el desarrollo de su campo técnico como trefilador.

Retomar por parte del equipo operativo las inspecciones diarias del mantenimiento de primer nivel en cada máquina. Este mantenimiento de primer nivel es una herramienta de gran valor ya que permite al propio operario conocer el estado real de su máquina, las diferentes inspecciones visuales permitirán encontrar partes averiadas, mecanismos en mal funcionamiento y otras situaciones desfavorables y que pueden ser subsanadas inmediatamente por parte del mismo operador o por el equipo de mantenimiento evitando más adelantes paradas no programadas por averías mecánicas o daño en el proceso de trefilado de cobre que genere fallos por roturas de hilos en el proceso.

Las rutinas de 5 S (limpiezas de tanques primarios, desbastadoras y hornos de recocido) permitirán la disminución de acumulación de residuo o polvillo de cobre. Esto evitara que las emulsiones de trefilado se sobresaturen de finos de cobre, deteriorando de esta forma las propiedades de la emulsión, disminuyendo su vida útil y la vida útil de los demás equipos que interactúan en el trefilado como lo son los dados y cabrestantes. Para ello, se hace necesario por parte de la gerencia de producción implementar un formato o cronograma de limpieza de dichos tanques (Tabla 27), estipulando fecha y responsable de cada actividad, a su vez, este cronograma de limpieza debe ser supervisado y auditado en cada actividad. La implementación de este formato permitirá programar dichas paradas por parte del equipo de programación y producción sin afectar los indicadores de cada máquina. En el Apéndice F, se presenta un registro fotográfico de las limpiezas a efectuasen en el área de trefilado.

La metodología SQDCE, debe seguir siendo un pilar fundamental dentro del programa Nexans Excellence Way. Es indispensable la continua participación del equipo de trefilado en las rutinas diarias de SQDCE de área como una herramienta para hacer visibles los problemas o anticiparse a ellos, buscando entre todo el equipo soluciones rápidas que permitan contener o erradicar los diferentes problemas que se puedan presentar en el proceso, llevando un seguimiento y registro de todas las acciones de mejora que contribuyan como fin a un proceso productivo eficiente, seguro, flexible y de alta calidad a menor costo. SQDCE permite la interacción de los equipos de cada área con las diferentes áreas de apoyo, mandos medio y la alta gerencia en la búsqueda de soluciones que pueda requerir un tratamiento especial ya sea por su alto costo en su implementación o por su complejidad.

Registro y control diario de la emulsión en cada trefiladora según estándar, verificando las diferentes variables de trabajo como concentración graso, temperatura, PH, Conductividad, control de bacterias, que permitan un correcto funcionamiento de esta en el trefilado con propiedades de lubricación, refrigeración y detergencia óptimas (Apéndice G: Formato Plan de Mantenimiento de Lubricante Área de trefilado).

Adquisición y calibración periódica de los instrumentos de medición de la emulsión que permitan la toma de datos de forma confiable y precisa (Refractómetro, medidor digital de PH, conductividad y temperatura, vara de medición de nivel entre otros).

Identificación visual de información de cada tanque primario de emulsión que contenga las diferentes variables de trabajo como niveles óptimos y mínimos, capacidad, etc. Permitiéndole al operador el registro y control de dichas variables y su comparación con el estándar de trabajo en cada máquina (ver Apéndice H: Información Tanques Primarios de Emulsión Maquinas Trefiladoras).

Registro de información de roturas de hilos de cobre por parte del operador de cada máquina en el Formato Control de Rotura de Hilos de cobre en el Área de Trefilado (ver Apéndice I: Formato control de roturas de hilos de cobre en el área de trefilado).

Capacitación al equipo de trefilado e ingeniería de procesos en la toma de registro de datos, registro fotográfico (visualización en proyector de perfiles) y conocimiento de los diferentes tipos de fallos por Roturas o Fracturas en Hilos de Cobre (roturas por inclusiones, roturas cono y copa, roturas por tensión, roturas por torsión, etc.) que permitan al operador de la línea de trefilado conocer de forma exacta la causa que origina dicha falla y de forma puntual tomar acciones preventivas o correctivas (ver Apéndice J).

Implementación de una base de datos en la herramienta Excel mediante la implementación del Formato de Registro y Control de Roturas de Hilos de Cobre en el Área de Trefilado – Nexans Colombia (Apéndice K), el cual permita llevar un control histórico de datos sobre roturas por tonelada trefilada, por proveedor de materia prima, etc. Datos que permitirán en un futuro analizar los comportamientos de las deferentes variables que actúan en el proceso, a su vez, el registro de datos de roturas en la herramienta Excel suministrados por el Formato Control de Rotura de Hilos de cobre en el Área de Trefilado (Figura 40: *Base de datos control de roturas de hilos de cobre*).

Implementación de una base de datos en la herramienta Excel: Formato de Registro Control de Datos o Hileras del Área de Trefilado, el cual permita llevar con datos la hoja de vida de cada hilera del proceso.

Implementar la buena práctica de limpieza y repulido de hileras cada vez que se termine una orden de producción, principalmente las hileras de salida, esto evitara que los residuos de finos de cobre se aglomeren y formen grumos de cobre que en una próxima ocasión de trabajo

pueden producir problemas superficiales en el hilo de cobre hasta ocasionar su rotura o el daño y acorte de la vida útil de las hileras.

Correcta información en la alimentación proveniente de la trefiladora primaria TRE001 que identifique de forma visual y escrita los diferentes inconvenientes que ocurran en el proceso productivo de esta máquina como tramos duros, enredos, roturas y soldaduras de hilos de cobre, con lo cual permita al operador de las trefiladoras de intermedios y finos tomar acciones ante estos tramos como por ejemplo bajar velocidad de la línea o retirar el tramo defectuoso, garantizando la continuidad del proceso evitando roturas por estos fallos, de igual manera se hace necesario la correcta información e identificación en las carretas provenientes ante un fallo generado en el proceso de intermedios y finos, evitando de esta forma mayores contratiempos en los procesos siguientes como buncheado (ver Apéndice L).

El análisis de las materias primas en especial el alambión de cobre como insumo en el proceso de trefilado es de suma importancia. La adquisición de un microscopio de alta resolución y definición permitirá a través de la metalografía evaluar la estructura tanto interna como externa del material (cobre) determinando la presencia de porosidades o huecos que contenga el alambión, así mismo, la evaluación de pureza y partículas que contenga. La evaluación del cobre como materia prima por medio del análisis metalografía dará mayor confiabilidad al proceso de trefilación y será un comparativo con la ficha técnica que suministran los proveedores.

Seguimiento, auditoria y evaluación por parte del área de mejora continua, ingeniería de procesos y mandos medios en el cumplimiento por parte del personal operativo de los estándares, SWI, OPL, SOP de trabajo ya definidos en el área.

Seguimiento, auditoria y evaluación por parte del área de mejora continua, ingeniería de procesos y mandos medios en la realización, estandarización y cumplimiento de los planes de acción y observaciones plasmadas en este estudio con el fin de disminuir los tiempos de paradas por fallos o roturas en los hilos de cobre en el proceso de trefilado y por consiguiente la reducción de costos asociados a la no calidad y productividad del área.

Rediseño del formato de control de producción del área de trefilado ya que este formato en el proceso de trefilado intermedio y de finos no cuenta con un espacio que permita identificar y registrar la materia prima proveniente del proceso de trefilado de gruesos (TRE001). Este rediseño en el formato de control de producción permitirá una óptima trazabilidad y con ello un mayor y mejor seguimiento a las materias primas que posean alguna falla o problema en ellas, permitiendo a la hora de presentarse alguna desviación tomar decisiones inmediatas sobre estas, minimizando las ocurrencias de fallas y tomando acciones sobre estos materiales antes de ser consumidos en su totalidad en el proceso de trefilación. En el Apéndice M, se presenta el rediseño del formato de control y registro de la producción para esta área. Según Poma (2024), señala que “Este seguimiento no solo asegura la calidad del producto, sino que también permite identificar cualquier problema que pueda surgir en cualquier etapa del proceso y solucionarlo de forma rápida y eficiente” (p. 17).

## Conclusiones

El proceso de trefilado de hilos de cobre es uno de los procesos más complejos entre los diferentes procesos que interactúan en la fabricación de conductores eléctricos. Decir que eliminar totalmente los fallos por roturas de hilos de cobre en este proceso podría ser una afirmación irrealista por las diferentes variables que se presentan durante el proceso como calidad de la materia prima, calidad de la lubricación y de su sistema de distribución, fallos o averías mecánicas, fallos por el factor humano, fallos por suministro eléctrico entre muchas otras causas, pero minimizar en una gran cantidad estos fallos es una gran oportunidad de mejora que está en las manos de todos los equipos que interactúan tanto operativamente como de las áreas de apoyo en este proceso.

La emulsión o lubricante de trefilado es un factor clave en la optimización de este proceso, su control diario en todas sus variables (concentración grasa, temperatura, PH, conductividad, control de bacterias y niveles óptimos de trabajo), permitirá no solo alargar su vida útil y disminuir sus costos de adquisición, sino que, cuidara y aumentara también la vida útil de las piezas que interactúan en el trefilado como anillos o cabrestantes, dados e hileras, pero sobre todo dará un excelente acabado superficial al alambre, disminuyendo tensiones residuales y fricciones minimizando las roturas de hilos de cobre en este proceso.

El diagnóstico inicial a la emulsión registro en todas las trefiladoras un porcentaje de concentración grasa alto, lo que demuestra una falta de control de esta. Durante el proceso de estudio junto con el equipo del área se trabajó en reducir este porcentaje a los límites superiores estandarizados, logrando una disminución por ejemplo en la trefiladora TRE007 del 51,78% pero aun estando por encima de los límites estandarizados. Se puede concluir que en el área de

trefilado se presenta un despilfarro en la utilización del lubricante en todas sus máquinas trefiladoras.

Los datos registrados en este estudio permiten dar un punto de inicio o partida en cuanto a la reducción de roturas en el área de trefilado, de contar con un total de 524 roturas de hilos de cobre en toda el área en un tiempo de 8 meses y calculando las toneladas trefiladas por roturas se pudo establecer el mayor valor de toneladas trefiladas por rotura mes a mes en cada trefiladora, dando como resultado 121,43 toneladas trefiladas por rotura en la TRE001, 3,23 toneladas trefiladas por rotura en la TRE006 y 21,72 toneladas trefiladas por rotura en la TRE007, dando una proyección de partida a partir de este estudio de 278 fallos lo que equivale a una reducción del 46,94% equivalente a un periodo igual de tiempo que el utilizado para este estudio, dando un valor promedio por mes en el área de 31 roturas por fallos.

A partir de estas proyecciones y con la formulación del plan de acción de reducción de costos de no calidad por roturas de hilos de cobre en el proceso de trefilado se espera que este promedio de roturas mensuales en el área disminuya gradualmente a un valor óptimo. “El valor deseado en todo proceso de trefilado de hilos de cobre sería el de cero fallos por roturas”.

La reducción de paradas no programadas por fallas en el proceso productivo no solo logra disminuir los costos de no calidad de los procesos, sino que aumenta la eficiencia productiva de cada máquina ya que disminuye el tiempo generado por estos fallos. Esto permite a su vez cumplir a cabalidad el plan de producción trazado para cada máquina generando cumplimiento y satisfacción en las entregas a nuestros clientes tanto internos como externos, cumplimiento de las actividades de mantenimiento programadas en tiempo y en ejecución y en algunos casos ir adelantando el proceso productivo del siguiente mes.

## Recomendaciones

La planificación, formulación, realización, control, auditoria, evaluación y mejora de estos planes de acción por parte de todo el equipo, contribuye grande y positivamente en el aumento de la eficiencia y calidad de los procesos, en un mejor entorno seguro para los trabajadores, minimizando los fallos y errores y aumentando el margen contributivo comercial de la empresa. A opinión propia: De nada sirve formular planes de acción para mejorar los procesos, sino hay un equipo que los realice, estandarice, controle, audite y los evalúe.

Según Medina et al., (2020), afirma sobre la importancia de la auditorias como forma de verificar el cumplimiento de los planes de acción y mejoras dadas:

La auditoría de procesos es un proceder sistemático, que se encamina a lograr el cumplimiento de las acciones y estrategias, evalúa el rendimiento, se considera una herramienta para mejorar la calidad, busca las mayores eficiencias operativas y mejores resultados en los procesos. Los alcances previstos atañen a todas las áreas, departamentos o procesos de la organización (p. 1-19).

Las actividades de limpieza en lo que refiere a la emulsión en el área de trefilado deben estar formalizadas y estandarizadas en un cronograma para el desarrollo de estas, se hace necesario que el equipo de producción, programación y mantenimiento planifiquen las fechas de realización de cada actividad de limpieza con anterioridad, con el ánimo de cumplir dicho cronograma en las fechas y tiempos asignado evitando de esta forma paradas no planificadas por el desarrollo de estas actividades.

A continuación, se presenta un cronograma de actividades de limpieza con su frecuencia, responsable y auditor para ser implementado en el área de trefilado.

**Tabla 34***Cronograma de limpieza de tanques área de trefilado*

Actividad	Frecuencia		Responsable	Coordinador de actividad y auditor
Limpieza tanques principales de emulsión	3 veces al año	Abril Agosto Diciembre	Operadores de trefilado	Coordinador de planta y Supervisor de turno
Limpieza Desbastadora	Mensual	Ultima semana	Operadores de trefilado	Supervisor de turno
Limpieza horno de Recocido	Semanal	Sábados turno 2	Operadores de trefilado	Supervisor de turno

**Observaciones:** Se recomienda efectuar la limpieza de tanques principales de emulsión la última semana de cada mes programado.

*Fuente.* Autoría Propia.

El desarrollo de cada actividad de limpieza en los tanques principales, desbastadoras y hornos de recocido en el área de trefilado, puede ser sujeto a cambios, según la disposición de trabajo que tenga cada maquina en su planificación mensual de producción, por lo tanto, una máquina trefiladora que termine con anterioridad su plan de trabajo puede adelantar su actividad de limpieza programada.

Los mantenimientos preventivos deben programarse como mínimo una vez al mes en cada trefiladora, su ejecución juega un papel importante en el correcto funcionamiento de cada máquina. Aunque los niveles de producción en el área sean altos, se debe en lo posible realizar los mantenimientos preventivos en las fechas asignadas para dichos trabajos. Se recomienda en lo posible la programación y realización de cada mantenimiento preventivo con el fin de minimizar las paradas programadas la última semana de cada mes, actividad que se estaría realizando junto a las actividades de limpieza de desbastadoras y hornos de recocido en el área.

Por último, los cambios realizados en los procesos encaminados a mejorar la eficiencia y productividad de estos, que implique el cambio de variables de trabajo o modificaciones en los procesos ya estandarizados deben ser realizados de forma gradual, sistemática, controlada, analizada y evaluada por todos los integrantes del equipo tanto operadores como áreas de apoyo. Estas acciones deben enfocarse a la mejora continua de los procesos, pero a su vez en la reducción de fallos o situaciones problemáticas que se puedan presentar durante estas modificaciones o cambios no solo en el proceso actual sino también en los siguientes procesos productivos.

Ejemplo de ello, es la reducción del porcentaje de recocido en la trefiladora primaria de cobre TRE001 con el fin de disminuir el consumo energético de la maquina en la trefilación de las alimentaciones 1,98 mm y 2,28 mm para las trefiladoras de intermedios y finos. Estas modificaciones género en los meses de junio y julio un aumento considerable en dichas trefiladoras de paradas por enredos en su alimentación debido a hilos de cobre duro, lo que ocasionó constantes roturas en los hilos de cobre, disminución de velocidades de trabajo, pérdida de tiempo, problemas en el siguiente proceso, etc, debido a la cantidad de cobre que se trefilo bajo estas modificaciones sin hacerse una prueba inicial que determinara su correcto o no funcionamiento en las trefiladoras intermedias y de finos (Aproximadamente 40 Toneladas).

### Referencias Bibliográficas

- Barrios Junco, S. (2013). Costos de Calidad y Costos de no Calidad: una decisión de mercado. *Técnica administrativa*, 12(54), 2.
- Calle, L. (2016). *Metodologías para hacer la revisión de literatura de una investigación*. <https://www.researchgate.net/publication/301748735> Metodologias para hacer la revisión de literatura de una investigacion.
- Cazar García, J. M. (2023). *Sistema de costos y rentabilidad en las empresas textiles* (Bachelor's thesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador).
- Chía, H., Patel, G. (1985). *Copper Wire Breaks Encyclopedia*. Southwire Company Metallurgical Laboratory.
- Datosmacro. (2024). *Precio Cobre grado A, LME spot price, precio por tonelada métrica*. <https://datosmacro.expansion.com/materias-primas/cobre>.
- Durán, A., Celentano, D., Signorelli, J., & Cruchaga, M. (2011). Modelización Policristalina del Proceso de Trefilado de Alambres. *Mecánica Computacional*, 30(8), 651-662.
- ESTEVEES GROUP. (2025). *Matrices de Trefilado*. [https://www.estevesgroup.com/products/wire-drawing-dies/pcd-drawingdies/#:~:text=Las%20hileras%20de%20trefilado%20se,alambres%20de%20soldadura%20y%20uni%C3%B3n.\(s.f\)](https://www.estevesgroup.com/products/wire-drawing-dies/pcd-drawingdies/#:~:text=Las%20hileras%20de%20trefilado%20se,alambres%20de%20soldadura%20y%20uni%C3%B3n.(s.f)).
- Exchange.rates.org. (2024). *Tipos de Cambio Eur a Cop*. <https://www.exchange-rates.org/es/historial/eur-cop-2024> // Eur a Cop - Conversión de Euros a Pesos Colombianos
- Farrera, I. L. (2008). *Conductores semiconductores y aislantes*. Universidad Autónoma. México. [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/\\_27503.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/_27503.pdf).

- Flores Gaspar, M. Á. (2021). *Desarrollo controles para el uso de materiales con variación en las características idóneas para el trefilado de alambre.*
- Fudrini Olivencia, A. L., & Gonzáles Villagra, S. (2003). *Investigación del comportamiento físico-químico de la emulsión en el proceso de trefilado del alambre de cobre.*
- Gallach, F. S., Soler, V. G., Molina, A. I. P., & Bernabeu, E. P. (2020). Diagrama de Pareto y lean manufacturing. *Aplicada* 2020, 19.
- Gálvez, F., Atienza, J. M., Ruiz, J., & Elices, M. (2002). El efecto de la velocidad de deformación en la rotura de alambres de acero durante el trefilado. *Un Analiiss de mecánica de la fractura* (Vol. 19, pp. 73-78).
- Gamarra Trujillo, E. M. (2022). *Estandarización de procesos y su influencia con la gestión de cobranza de la empresa EOS SA, Pasco-2020.*
- Garate Soto, A. (2021). *Metodología para el cumplimiento del Código Nacional de Electricidad para la seguridad de las instalaciones eléctricas-caso industriales.*
- García Alanís, M. J. (1997). *Análisis de las causas que ocasionan las fracturas del alambre de cobre durante el proceso de estirado* (Bachelor's thesis, San Pedro Garza García: UDEM).
- García, M., Quispe, C., & Raez, L. (2002). Costo de la calidad y la mala calidad. *Industrial Data*, 5(1), 15-21.
- Guerrero Maquin, J. R., Hilario Goñe, J. H., Santillana Mena, J. A., & Vidal Mautino, W. D. (2019). *Cuellos de botellas y productividad en la fabricación de alambres de la empresa Tream Perú SAC, Lima.*
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2013). *Control estadístico de calidad y seis sigma.*(3da. ed.). Ciudad de México.

- Herrera Ccari, B. C. (2020). *Propuesta de un sistema de indicadores de eficiencia general de equipos (OEE) para mejorar la productividad en el área de tejeduría de una empresa textil.*
- ICONTEC (2022). *Alambrón de cobre para usos eléctricos*; Norma Técnica Colombiana NTC 1818; Sexta actualización; p. 5; Bogotá D.C.
- Inostroza Correa, E. I. (2021). *Estudio numérico de la distribución y evolución del daño en cables metálicos.*
- Lima Pérez, F. D. (2021). *Propuesta de un procedimiento para la determinación de los costos asociados a la calidad en la Empresa Industrial Ferroviaria “José Valdés Reyes”* (Doctoral dissertation, Universidad de Matanzas. Facultad de Ciencias Empresariales).
- McGraw-Hill. (2024). *Soluciones Educativas Innovadoras. Disoluciones, diluciones y densidad.*  
[https://www.google.com/search?q=disoluciones%2c+diluciones+y+densidad&oq=disoluciones%2c+diluciones+y+densidad&gs\\_lcrp=egzjahjvbwuybggaeuyotihcae qabiabdiicai qabgwgb4ybwgdeaay7wuycggeeaaygaqyogqybwgfeaay7wuycggeeaaygaqyogtsa qk2nzyx ajbqmtwoagiwage&sourceid=chrome&ie=utf-8](https://www.google.com/search?q=disoluciones%2c+diluciones+y+densidad&oq=disoluciones%2c+diluciones+y+densidad&gs_lcrp=egzjahjvbwuybggaeuyotihcae qabiabdiicai qabgwgb4ybwgdeaay7wuycggeeaaygaqyogqybwgfeaay7wuycggeeaaygaqyogtsa qk2nzyx ajbqmtwoagiwage&sourceid=chrome&ie=utf-8), <https://www.mheducation.es> › guide › capítulo 9. McGraw-Hill Interamericana de España.
- Medina Enríquez, A., Medina Nogueira, Y. E., Medina León, A., & Nogueira Rivera, D. (2020). Fundamentos teórico-conceptuales de la auditoría de procesos. *Retos de la Dirección*, 14(1), 1-19.
- Monar Torres, M. T. (2023). *Análisis de los Parámetros de Trefilado de Alambre de Cobre, en diferentes condiciones de lubricación, bajo criterios de sostenibilidad: Trefilado de Alambre de Cobre para conductores eléctricos, con lubricación.*

- Nexans. (2024). *Política de Calidad, Sostenibilidad, seguridad y Salud en el Trabajo*; Código D-PE-7; Versión: 8 / Misión y Visión, Código: D-PE-11; Versión: 1. Actualizado Julio de 2024. <https://www.nexans.co/es/company/Misi%C3%B3n-y-Prop%C3%B3sito.html>. (s. f.).
- Niehoff Gruppe. (1993). *Manual de Instrucciones de Servicio Ziehsteinfoolge Fuer MMH 120. EI. BA 1-03/93. Cap. 2- Antes de la puesta en marcha. (p 6); Cap. 6- Fallos p (21- 22). Maschinenfabrik, Germany. (Recurso suministrado por el área de mantenimiento Nexans Colombia; Planta Bucaramanga 2024).*
- Orsi, I. (2019). *Evolución de defectos de trefilado en alambroón de aluminio* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería. Argentina).
- Palma, M. (2019). *Incidencia del margen de contribución en la toma de decisiones gerenciales de empresas panificadoras* (tesis de especialización, Universidad de la Costa). Repositorio institucional CUC.
- Poma Bernal, F. X. (2024). *Modelo para la trazabilidad de la producción para la empresa Zona Textil* (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- Pops, H., Steininger, J. (2003). *Wire Breaks and Failure Analysis*. Essex Group, Incorporated.
- Rodríguez Castro, M. (2017). *Desarrollo de una línea de producción basado en Metodología Lean Manufacturing* (Bachelor's thesis). <https://earchivo.uc3m.es/rest/api/core/bitstreams/06291281-f953-4577-b1bb7b3b34637292/content>
- Rodríguez, J. (2019). *Nuevo sistema de Gestión de Eficiencia Global (OEE) en tiempo real para industria*. Trabajo Fin de Máster.
- Romero Restrepo, C., & Tamayo Saldarriaga, J. A. (2007). *Costos de la no calidad*.

- Ruiz Corzo, D. A. (2020). *Implementación de herramientas de estandarización en procesos de fabricación de la empresa Nexans Colombia SA.*
- Sepulveda Macareo, I. D. (2023). *Seguimiento y Control de Variables de la Emulsión en el Proceso de Trefilado de Cobre en la Planta Nexans Colombia SA 2022-2.*
- Sigua, J. R. O., Narváez, V. P. M., & Palacios, M. M. T. (2020). Los costos de la no calidad y su incidencia en la rentabilidad de las Pymes. *Cienciamatria*, 6(2), 220-248.
- Superintendencia de Sociedades. (2024). *Informe de las 1000 empresas más grandes del país.*  
<https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https://www.supersociedades.gov.co/documents/20122/7152680/Base-1000-empresas-2024.xlsx>. (s. f.).
- Tecalsa S.A. (1997). *Manual de Instrucciones de servicio. Línea de trefilado de desbaste T40-30/13C+F35/140+PAT30+BO63 para cobre y aluminio.* Cap. 5- Datos técnicos de la maquina PP. (52 - 86). Cap. 6- Normas para la puesta en servicio PP. (88-94). Cap. 8 Normas de mantenimiento PP. (117-133). Barcelona, España. (Recurso suministrado por el área de mantenimiento Nexans Colombia; Planta Bucaramanga 2024).
- Valderrama, Y., & Terán, E. (2013). Costos de calidad en la toma de decisiones. Una mirada hacia su categorización como herramienta de análisis operativo en una empresa de restauración. *COEPTUM*, 4(2), 125-140.
- Villavicencio, D. X. P., Soler, V. G., & Bernabeu, E. P. (2017). Metodología para elaborar un plan de mejora continua. *3c Empresa: investigación y pensamiento crítico*, (1), 50-56.
- Zambrano, M. I., Véliz Briones, V. F., Armada Trabas, E., & López Rodríguez, M. (2018). Los costos de calidad: su relación con el sistema de costeo ABC. *Cofín Habana*, 12(2), 179-189.

## Apéndices

### Apéndice A

*Equipos e instrumentos de medición para la toma y registro de datos de la emulsión y control de roturas de hilos de cobre*

---

#### Toma de muestras de emulsión

Refractómetro digital HI96801  
0 - 85 % Brix



Caja de cinta medidoras  
de PH



Probeta de ensayo



Proyector de perfiles BWHC –  
1080B



#### Control de roturas

Micrómetro digital  
Mitutoyo



Cámara digital  
Nikon COOLPIX




---

*Nota.* Los equipos e instrumentos anteriormente ilustrados, se utilizaron en el desarrollo de este estudio, tanto para la toma y control de datos de la emulsión, como para el registro de las diferentes roturas ocurridas en el área de trefilado. *Fuente.* Autoría Propia.

## Apéndice B

### Calculo costo de la no calidad y de la no producción máquinas trefiladoras

Tarifa Hora COP - Nexans Bucaramanga 2024	Consumo KWH Máquina		Producción Estándar (Toneladas)		
	Máquina	Turno	Máquina	Turno	Hora
Energía (Valor KWH)	497	TRE001 16	TRE001	12	1.5
Mano de obra	43872	TRE006 18	TRE006	3	0,375
Máquina	213013	TRE007 17	TRE007	8	1
Depreciación	38536				

*Nota.* El consumo KWH por máquina corresponde al consumo de energía hora de cada máquina mientras que esta se encuentra detenida y en alistamiento para volver a iniciar nuevamente su proceso productivo por la falla o rotura registrada. Estos datos son tomados del registro de consumo de energía eléctrica



*Nota.* En la figura anterior se puede observar el consumo eléctrico de la TRE006 registrado en la aplicación SCADA de Nexans Colombia. *Fuente.* Autoría Propia.

A continuación, se realiza para ejemplificar el costo de la no calidad y el costo de la no producción en la TRE001 en el mes de febrero.

Costo No calidad hora TRE001 = (valor KWH \* consumo KWh máquina) + mano de obra + máquina + depreciación

Costo No calidad hora TRE001 =  $(497 * 16) + 43872 + 213013 + 38536$

Costo No calidad hora TRE001 = 303373 COP

Costo No calidad TRE001 mes de febrero = Costo No calidad hora TRE001 \* número de horas por fallos mes de febrero

Costo No calidad TRE001 mes de febrero =  $303373 * 21,31$

Costo No calidad TRE001 mes de febrero = 6.464.878,63 COP

Toneladas No producidas TRE001 = Número de horas por fallos mes de febrero \* Producción estándar tonelada hora

Toneladas No producidas TRE001 =  $21,31 * 1,5 = 31,97$  toneladas mes febrero

Costo de la No Producción TRE001 = Toneladas no producidas (febrero) \* valor tonelada cobre

Costo de la No Producción TRE001 =  $31,97 \text{ ton/febrero} * 32.635.567,46 \text{ COP}$

Costo de la No Producción TRE001 mes de febrero = 1.043.195.914 COP

*Nota.* La producción estándar por máquina está definida por el área de mejora continua de Nexans Colombia. *Fuente.* Autoría Propia.

## Apéndice C


*Precio cobre grado A. LME Sport Price, precio por tonelada métrica 2024*


Precio Cobre grado A. LME Sport Price, Precio por tonelada métrica 2024				
Mes	Precio tonelada cobre (euros)	Cambio euro/COP	Precio tonelada cobre (COP)	Precio Kg Cobre (COP)
Enero	7658,27	4274,7	32736806,77	32736,81
Febrero	7693,33	4242,06	32635567,46	32635,57
Marzo	7995,6	4241,15	33910538,94	33910,54
Abril	8804,62	4143,01	36477628,71	36477,63
Mayo	9430,61	4178,62	39406935,56	39406,94
Junio	8993,44	4359,63	39208070,83	39208,07
Julio	8748,43	4382,21	38337457,43	38337,46
Agosto	8371,66	4476,2	37473224,49	37473,22
Septiembre	8630,81	4654,37	40170983,14	40170,98
Octubre	8887,02	4643,88	41270254,44	41270,25
Noviembre	8459,85	4682,89	39616546,97	39616,55
Diciembre	8305,28	4600,12	38205284,63	38205,28

*Fuente.* Adaptado de la página web Datosmacro.Com. (2024). Precio Cobre grado A, LME spot price, precio por tonelada métrica. // Exchange.rates.org. (2024). Tipos de Cambio Eur a Cop.

## Apéndice D

Formato de control y registro de datos área de trefilado



 <b>REGISTRO Y CONTROL DE DATOS ÁREA DE TREFILADO NEXANS COLOMBIA</b>														Código: F - MC - 010	
														Versión: 00	
														Fecha de Creación:	
Item	Máquina	Diámetro	Código	Proveedor	Material	Dimensión de la Caja	Enhebrado Primario		Fecha de Compra	Fecha de Entrega	Toneladas Trefiladas	Fecha de Limpieza	Rectificación		Observaciones
							Si	No					Si	No	
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
...															
...															
...															

<b>Observaciones:</b> Máquina: TRE001 - TRE006 - TRE007 Material: SSCD Diamante monocristalino - ND Diamante natural - PCD Diamante policristalino MD Metal duro - WC Carburo de tungsteno	Dimensión de la caja: 	Elaboro: Gustavo Adolfo Silva Reviso: Aprobo:
--	---	---

Fuente. Autoría Propia.

## Apéndice E

### Tabla de lubricantes

Lubricantes Área de Trefilado		
		
Lubricante	UNOPLO U 570	RA 400 CPD
Fabricante	BECHEM LUBRICATION TECHNOLOGY	RICHARD APLEX
Empaque	Caneca * 55 galones	Caneca * 55 galones
Maquina	TRE006	TRE001      TRE007
% Concentración graso	7% - 9%	9% - 11%      7% - 10%
Contenido neto	180 kg	190,5 kg
Inventario inicial	02 de mayo del 2023 0 canecas	25 de agosto de 2023 0 canecas
	04 de mayo del 2023 4 canecas	29 de agosto de 2023 4 canecas (Centelsa)
Compras	23 de enero del 2024 4 canecas	13 de septiembre del 2024 8 canecas 08 junio del 2024 8 canecas
Inventario final	27 de diciembre del 2024 0 canecas	27 de diciembre del 2024 6 canecas
Valor Unitario	1132, 20 euros (€)	1306,20 USD
Consumo	8 canecas	14 canecas
Valor total	9057,6 euros (€) 40,759,200.00 COP	18286,8 USD 74,451,963.20 COP

Fuente. Autoría Propia.

## Apéndice F

*Implementación jornada de 5 S, limpieza máquinas trefiladoras (desbastadoras, hornos de recocido)*




*Nota.* Limpieza de máquinas área de trefilado, implementación de metodología de 5 S.

*Fuente.* Autoría Propia.

Apéndice G

Formato plan de mantenimiento de lubricantes área de trefilado

**PLAN DE MANTENIMIENTO: LUBRICANTE PARA COBRE:**



CREACION: Wilfer Espinel.		MODIFICO: Gustavo Silva					Fecha:					Tipo lubricante :																			
Item	Variables	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Concentración																														
2	Temperatura																														
3	PH																														
4	Conductividad																														
5	Bacterias																														
6	Nivel (Cm)																														
7	Operario																														

**Diagrama concentración graso**

16%																															
15%																															
14%																															
13%																															
12%																															
11%																															
10%																															
9%																															
8%																															
7%																															


Tabla de valores de referencia				Observaciones
Variables	Herramienta de medicion	Medicion estandar	Frecuencia	
concentracion	Refractometro	7% / 9%	Diaria	
Temperatura	Termometro	35 / 40°	Diaria	
PH	Cinta PH	8,5 / 9,5	lun-mie-vie	
Conductividad	Conductimetro	≥ 6000 μs / cm	lun-mie-vie	
Bacterias	Cultivio ( tiempo 5 dias)	10^3 μ organismos / ml	60 Días	
Filtro	Visual		Diaria	
Nivel tanque	Vara metrica	52 cm / 82 cm	Lunes	

Fuente. Formato plan de mantenimiento de lubricantes. Elaborado por el área de ingeniería de procesos Nexans Colombia.


Modifico. Gustavo Adolfo Silva.

## Apéndice H

### Información tanques primarios de emulsión máquinas trefiladoras



# TANQUE PRIMARIO TRE001

 Tipo de tanque: Enterrado  
Emulsión: RA-400 – Richards APLEX

Dimensiones: Largo: 2,30 m, Ancho: 2,00 m Altura: 1,10 m

Volumen total: 5,06 m<sup>3</sup> Capacidad total: 5060 litros

**Nivel óptimo de emulsión :**  
75 % de Altura = 0,82 m

**Volumen óptimo:** 3,79 m<sup>3</sup>


**Capacidad óptima:** 3795 L

**Nivel mínimo de emulsión :**  
45 % de Altura = 0,50 m


**Volumen mínimo:** 2,27 m<sup>3</sup>

**Capacidad mínima:** 2277 L

Trefiladora Primaria TECALSA Elaboro: Gustavo A Silva.



# TANQUE PRIMARIO TRE006

 Tipo de tanque: Superficial  
Emulsión: Unopol U 570 BECHEM L

Dimensiones: Largo: 3,00 m, Ancho: 2,30 m Altura: 1,30 m

Volumen total: 8,97 m<sup>3</sup> Capacidad total: 8970 litros

**Nivel óptimo de emulsión :**  
70 % de Altura = 0,92 m

**Volumen óptimo:** 6,27 m<sup>3</sup>

**Capacidad óptima:** 6279 L

**Nivel mínimo de emulsión :**  
45 % de Altura = 0,52 m

**Volumen mínimo:** 3,58 m<sup>3</sup>

**Capacidad mínima:** 3588 L

Trefiladora de finos NIEHOFF 16 Hilos Elaboro: Gustavo A Silva.

**Nexans**  
ELECTRIFY THE FUTURE

# TANQUE PRIMARIO TRE007

TRE007

Tipo de tanque: Enterrado  
Emulsión: RA-400 – Richards APLEX

Dimensiones: Largo: 1,70 m, Ancho: 1,35 m Altura: 1,10 m

Volumen total: 2,52 m<sup>3</sup> Capacidad total: 2524 litros

Nivel óptimo de emulsión :  
75 % de Altura = 0,82 m

Volumen óptimo: 1,89 m<sup>3</sup>

Capacidad óptima: 1893 L

Nivel mínimo de emulsión :  
50 % de Altura = 0,55 m

Volumen mínimo: 1,26 m<sup>3</sup>

Capacidad mínima: 1262 L


Trefiladora Intermedia NIEHOFF 8 Hilos

Elaboro: Gustavo A Silva.

*Nota.* En las figuras anteriores, se presenta la información de presentación de cada tanque de emulsión primario en el área de trefilado. Esta información permite a cada operador del área contar visualmente con la información de cada tanque y poder controlar óptimamente las variables descriptas en cada uno de ellos. *Fuente.* Autoría Propia.

## Apéndice I

Formato control de rotura de hilos de cobre en el área de trefilado

	CONTROL DE ROTURAS ÁREA DE TREFILADO	CÓDIGO: F-PR- 099
		VERSIÓN: 00
MUESTRA FÍSICA		
FECHA		MÁQUINA
OPERADOR		TURNO
# CARRETA BOBINADORA / CANASTILLO		REFERENCIA
		DIAMETRO FINAL
LUGAR DE LA ROTURA		
DEVANADOR	<input type="checkbox"/>	HORNO RECOCIDO <input type="checkbox"/>
DESBASTADORA	<input type="checkbox"/>	DANCER <input type="checkbox"/>
ULTIMO ANILLO	<input type="checkbox"/>	BOBINADOR / COILER <input type="checkbox"/>
PROVEEDOR	TIEMPO DE ROTURA (Minutos)	
NÚMERO DE ALAMBRON	NÚMERO DE CANASTILLO ALIMENTADOR	
CAMBIO BOBINA SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	VELOCIDAD LÍNEA	
CAUSAS		
MATERIA PRIMA POROSA	<input type="checkbox"/>	FALLO SUMINISTRO ELÉCTRICO <input type="checkbox"/>
FALLO POR SOLDADURA	<input type="checkbox"/>	MATERIA PRIMA ENREDADA <input type="checkbox"/>
PROBLEMA DE HILERAS	<input type="checkbox"/>	FALLO MÁQUINA <input type="checkbox"/>
ERROR OPERATIVO	<input type="checkbox"/>	FALLO LUBRICACIÓN <input type="checkbox"/>
SIN IDENTIFICAR	<input type="checkbox"/>	OTROS <input type="checkbox"/>
OBSERVACIONES		

Fuente. Formato de control de roturas. Elaborado por el área de ingeniería de procesos Nexans

Colombia. Modifico. Gustavo Adolfo Silva.

**Apéndice J**

*Socialización y capacitación de registro formato de control de roturas a operarios del área de trefilado en sus puestos de trabajo*



Lexans		REPORTE DE CAPACITACION Y/O ENTRENAMIENTO		Código: F-MC-002
				Versión: 02
Área: TREFILADO		Tipo: Capacitación		
Tema: Socialización formato control de roturas de hilos de cobre TREFILADO				
Nombre Capacitador: GUSTAVO D. SILVA				
Empresa Capacitador: LEXANS COLOMBIA		Firma: GUSTAVO D. SILVA		
Lugar: Área de trefilado - Salón 300CE Área				
Horario: 7:45 am - 9:50 Am		Duración: 5 minutos		
Fecha	Nombre	Cargo	Firma	
1 FEB 27 / 2024	ARICEL OJEDA ROJAS	op.	ARICEL OJEDA	
2	Bryan Condono	Operario	Bryan C.	
3	Diego Delgado	op	Diego	
4	Edisson Leon	op	Edisson	
5	José Manuel López	operario	José Manuel	
6 Feb 27 / 2024	Andrés Figueroa	op.	Andrés	
7	Alfonso Masera	Op	Alfonso	
8	Fabio Antonio González	Operario	Fabio	
9	Victor Barrios	operario	Victor	
10				
11				
12				
13				
14				
15				

Fuente. Autoría Propia.

## Apéndice K

Formato de registro y control de roturas

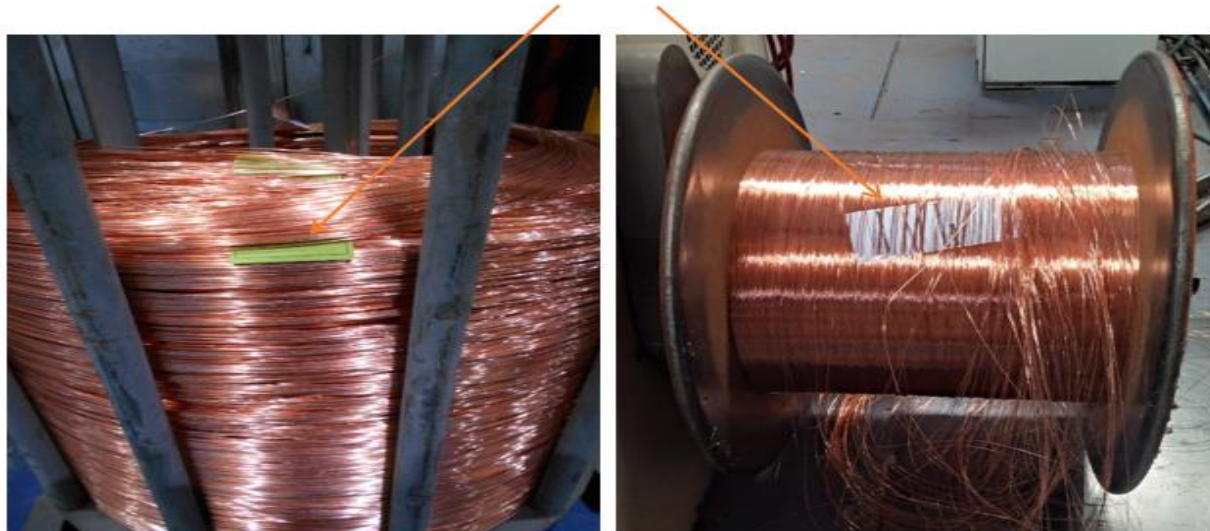
		<b>FORMATO REGISTRO Y CONTROL DE ROTURAS DE HILOS DE COBRE EN EL</b> <b>ÁREA DE TREFILADO - NEXANS COLOMBIA</b>														Código: F - MC - 010		
		Versión: 00		Fecha de Creación:														
Maquina	Cobre	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio	Total	Observaciones		
TRE001	Ton / Trefiladas																	
	# de Roturas																	
	Ton / Rotura																	
TRE006	Ton / Trefiladas																	
	# de Roturas																	
	Ton / Rotura																	
TRE007	Ton / Trefiladas																	
	# de Roturas																	
	Ton / Rotura																	
Total / mes																		
AÑO:	Observaciones Generales:																Elaboro: Gustavo A Silva	
	Ton = Toneladas																Reviso:	
																	Aprobo:	

*Nota.* Formato en Excel para el registro y control de roturas anual de hilos de cobre en el área de trefilado. *Fuente.* Autoría propia.

## Apéndice L

### Identificación y registro de tramos defectuosos provenientes del área de trefilado

identificación de tramos defectuosos provenientes del proceso de trefilado



12 awg flexible  
13 hilos  
Nº 3704

<b>Nexans</b>	
COLOMBIA	
OF: 1224635	SOF: 20
PRODUCTO: 12 awg Flexible	
PROCESO: TREF	MÁQUINA: 06
CLIENTE: Stoch	
CANTIDAD (m ó kg):	79500
ID. CARRETE:	204
FECHA PROCESO (SOF):	16/07/2024
OPERADOR:	067
TURNO:	02
<b>CONFORMIDAD</b>	
CONFORME	<input checked="" type="checkbox"/>
NO CONFORME	<input type="checkbox"/>
<b>PASA A:</b>	
MÁQUINA:	BUNO 4
PROCESO:	ALMACÉN
SEC. INICIAL:	SEC. FINAL:
PESO B:	TARA:
PESO N:	
OBSERVACIONES OPERADOR:	
13 hilos 00322	
DEFECTO: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
OBSERVACIÓN CONTROL DE CALIDAD:	
DJD →	

ENHEBRAR POR AQUÍ

ABAJO (Núcleo de la carreta)			
Tramo de mts	Consumo Inicio: Observaciones:	% Consumo Fin:	%
1 +	Soldadura: <input type="checkbox"/> Amarre: <input checked="" type="checkbox"/> Chispometro: <input type="checkbox"/> Defecto: <input type="checkbox"/>	Sticker #:	causas: hilos rotos
2 +	Soldadura: <input type="checkbox"/> Amarre: <input checked="" type="checkbox"/> Chispometro: <input type="checkbox"/> Defecto: <input type="checkbox"/>	Sticker #:	causas: hilos rotos
3 +	Soldadura: <input type="checkbox"/> Amarre: <input type="checkbox"/> Chispometro: <input type="checkbox"/> Defecto: <input type="checkbox"/>	Sticker #:	causas:
4 +	Soldadura: <input type="checkbox"/> Amarre: <input type="checkbox"/> Chispometro: <input type="checkbox"/> Defecto: <input type="checkbox"/>	Sticker #:	causas:
5 +	Soldadura: <input type="checkbox"/> Amarre: <input type="checkbox"/> Chispometro: <input type="checkbox"/> Defecto: <input type="checkbox"/>	Sticker #:	causas:

ARRIBA (Parte externa de la carreta)

Registro de tramos defectuosos en tarjeta de identificación de producto proveniente del proceso de trefilado

Nota. En la figura anterior, se presenta la identificación y registro de tramos defectuosos o fallos provenientes del proceso de trefilado. Esta identificación y marcación tanto en las carretas como en las tarjetas permite al operador del siguiente proceso estar atento al momento de salir estos fallos en su proceso productivo. Fuente. Autoría Propia.



## Apéndice N

### Resultados análisis de bacterias emulsión trefilado Nexans Colombia



Página 1 de 2

E24-001 CENTELSA

Lima, 11 de enero del 2,024

Señores  
**CENTELSA**  
 Colombia.-

Atn.: **Ing. Cristian Barragan**  
**Ing. Carlos Pedraza**

Estimados señores,

Cumplimos con informarles los resultados obtenidos de las muestras de solución enviada a los laboratorios de **RichardsApex**, en Filadelfia - USA:

1.

PRODUCTO	SISTEMA	SOLUCION N°	FECHA DE MUESTRA ACT.
RA-400	TREFILADORA 1	65152	18-dic.-23
PARAMETROS			RESULTADO ACT.
Total Fatty Matter (%) Concentración			8.80
pH			7.88
Total Copper (ppm) / Cobre Total			1705.00
Conductivity (Micromhios) Conductividad			4800.00

**Recomendaciones de Control:**

- Los resultados se encuentran dentro del rango normal de operación.

2.

PRODUCTO	SISTEMA	SOLUCION N°	FECHA DE MUESTRA ACT.
RA-400	TREFILADORA 6	65153	18-dic.-23
PARAMETROS			RESULTADO ACT.
Total Fatty Matter (%) Concentración			9.90
pH			8.46
Total Copper (ppm) / Cobre Total			2728.00
Conductivity (Micromhios) Conductividad			3400.00

**Recomendaciones de Control:**

- Los resultados se encuentran dentro del rango normal de operación.


...

3.

PRODUCTO	SISTEMA	SOLUCION N°	FECHA DE MUESTRA ACT.
RA-400	TREFILADORA 7	65154	18-dic.-23
PARAMETROS			RESULTADO ACT.
Total Fatty Matter (%) Concentración			5.50
pH			8.27
Total Copper (ppm) / Cobre Total			2118.00
Conductivity (Micromhos) Conductividad			3600.00

Si tuvieran alguna consulta, por favor no duden en contactarnos.

Atentamente;

p.   
**Flavio Rubini M.**

c.c.: Srta. Jheimy Guevara

*Nota.* Resultados de muestras de emulsión realizadas en el área de trefilado. Laboratorio RICHARD APLEX. Tomado del Área de ingeniería de procesos Nexans Colombia.