



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

**NOMBRE DEL PROYECTO:
“CONVERSIÓN DE AJUSTE DE SLITTER DE SISTEMA
ELÉCTRICO A SISTEMA NEUMÁTICO”**

**TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA
PROFESIONAL.**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**PRESENTA:
DANIEL MALDONADO BRITEÑO**

**NOMBRE DEL ASESOR:
• MTRO. LEONCIO GONZÁLEZ FERNÁNDEZ**



Tzompantepec, Tlaxcala, 04/febrero/2025

Oficio No. MM-140/2026

Asunto: Liberación de Proyecto para Titulación Integral.

LIC. CECILIA YARELLY ARREGUIN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para Titulación integral:

Alumno (a):	DANIEL MALDONADO BRITEÑO
Carrera:	INGENIERÍA MECATRÓNICA
No. De Control:	20370084
Nombre del Proyecto:	"CONVERSIÓN DE AJUSTE DE SLITTER DE SISTEMA ELÉCTRICO A SISTEMA NEUMÁTICO".
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL.

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE
METAL MECÁNICA

MTRO. JORGE AGUILAR VÁZQUEZ
JEFE DEL DEPTO. DE METAL-MECÁNICA

MTRO. LEONCIO GONZÁLEZ FERNÁNDEZ
ASESOR

c.p.- Archivo.
JAV*petry.



2026
año de
Margarita
Maza





Tzompantepec, Tlaxcala, **19/Marzo/2026**

DANIEL MALDONADO BRITEÑO
EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
CON NÚMERO DE CONTROL 20370084.
P R E S E N T E.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **"CONVERSIÓN DE AJUSTE DE SLITTER DE SISTEMA ELÉCTRICO A SISTEMA NEUMÁTICO"**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar **1 USB** del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

CECILIA YARELY ARREGUÍN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



ccp. Archivo
CYAL/Gvm*



2026
año de
Margarita
Maza



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi madre, Patricia Briteño Morales, por su amor incondicional, su fortaleza y por ser siempre mi mayor apoyo y ejemplo a lo largo de mi vida. A Esmeralda Maldonado Briteño, por su constante ayuda, comprensión y por acompañarme con palabras de aliento en los momentos más importantes de este camino.

Extiendo mi gratitud al resto de mi familia por su apoyo, paciencia y confianza, que me motivaron a seguir adelante y culminar esta etapa tan significativa.

Agradezco también a todos mis amigos y conocidos, quienes en algún momento me brindaron su motivación, apoyo o compañía. Cada palabra, gesto y consejo fue una parte importante que me impulsó a alcanzar este logro.

De manera especial, quiero agradecer a Kimberly-Clark, y en particular al departamento de Coform, por brindarme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente, aplicar mis conocimientos y seguir aprendiendo dentro de un entorno tan enriquecedor.

Finalmente, expreso mi reconocimiento y gratitud a todos los maestros que compartieron su conocimiento, su tiempo y su dedicación a lo largo de esta etapa. Sus enseñanzas fueron fundamentales para mi formación académica y personal.

A todos ustedes, gracias por ser parte esencial de este logro y de mi crecimiento profesional y humano.

INDICE

RESUMEN	7
INTRODUCCION	9
DESCRIPCION DE LA EMPRESA ORGANIZACIÓN Y DEL PUESTO O AREA DE TRABAJO DEL ESTUDIANTE.....	9
PROBLEMAS POR RESOLVER PRIORIZANDOLOS	11
Proceso de conformado	11
Equipos auxiliares.....	13
Lavadora de aire (Air Washer).....	13
Chiller	14
Sistema de vacío para recolección de polvo residual	14
Compactadora de polvos	15
Compactadora de recorte	15
Problemas por resolver	16
Objetivos General:	18
Objetivos Específicos:.....	18
JUSTIFICACION.....	19
MARCO TEORICO	20
Delimitación.	29
Cronograma preliminar de actividades (Gráfica de Gantt). Conforme a Formato para Seguimiento de Proyecto de Residencias Profesionales – Cronograma (TecNM-APIZACO-LI-PO-05-04)	30
CAPITULO I CAPACITACIÓN Y FORMACIÓN EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y PROCESOS DE COFORM	31
1.1 Tres responsabilidades de seguridad: Verlo, Adueñarse y Resolverlo.....	31
1.2 Trabajos en caliente	32
1.3 Trabajos en alturas	32
1.4 Espacios confinados	33

1.5 Seguridad de peatones y vehículos en planta industrial	33
1.6 Instalación eléctrica provisional.....	34
1.7 Electricidad y clasificación del personal.....	34
1.8 Equipo de Protección Personal (EPP) en Trabajos Eléctricos	34
1.8.1 Componentes del EPP Eléctrico y su Función	35
1.8.2 Importancia del EPP Eléctrico en las Actividades de Mantenimiento	35
1.9 Control de Energías Peligrosas (Lockout / Tagout – LOTO)	35
1.9.1 Tipos de Energías Peligrosas en el Área de Mantenimiento.....	36
1.9.2 Energía eléctrica.....	36
1.9.3 Energía neumática	36
1.9.5 Energía hidráulica.....	36
1.9.6 Energía mecánica	36
1.9.7 Energía térmica	36
1.9.8 Energías residuales o cinéticas.....	36
1.10 Energías No Bloqueables y Procedimientos Especiales	37
1.11 Polvo Combustible en Procesos de Coformado	37
1.11.1 El Pentágono de la Explosión y su Aplicación al Proceso	37
1.11.2 Impacto del Polvo en la Operación y el Mantenimiento	37
1.12 Manejo de Extintores y Prevención de Incendios.....	38
1.13 Manejo de Sustancias Químicas y Sistema Globalmente Armonizado (SGA).....	38
1.14 Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos	38
CAPITULO II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AJUSTE DE POSICION ELÉCTRICO DEL SLITTER –	
MÁQUINA 1 (ANTES DE LA MODIFICACION)	39
2.1 COMO FUNCIONA EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO ELECTRICO DE MAQUINA 1	40
2.2 Motor a pasos 57000 Series Size 23 Hybrid Linear Actuators	43
2.2.1Características generales	44
2.2.2 Configuraciones	44
2.2.3 Características eléctricas y de desempeño	46
2.3 Sistema de Seguridad cortina de luz	47
2.4 Línea de paro de emergencia por tracción de cable.....	49

2.5 Rodillos.....	50
2.6 Sistema de Vacío para la Recolección de Trim	51
2.7 PORTACUCHILLAS DE CORTE DF50-150	53
Capítulo III. Análisis de sistema de posición neumático de maquina 2.....	57
3.1 Rodillos (o “rodillo base para el porta yunque”)	59
3.2 Riel y Rodamientos Lineales.....	60
3.3 Rodillos (Sistema de Guiado de Banda)	61
3.4 cilindro de Bloqueo	63
3.5 Sistema de Vacío para la Recolección de Trim	64
3.6 Sistema de seguridad	65
CAPITULO IV. ADAPTACIÓN DEL SISTEMA NEUMÁTICO	68
4.1 análisis.....	68
4.2 Cilindro neumático.....	70
4.3 Control del cilindro.....	71
4.4 alimentación y distribución de aire comprimido	72
CAPITULO V. SELECCIÓN DE ACTUADORES PARA SISTEMA DE POSICIONAMIENTO	74
5.1 Cilindro neumático.....	74
5.1.1 Especificaciones técnicas principales.....	75
5.1.2 Cálculo de la fuerza teórica del pistón neumático.....	76
5.1.3 Cálculo del área del émbolo.....	77
5.1.4 Conversión de la presión de trabajo	77
5.1.5 Cálculo de la fuerza teórica.....	77
5.1.6 Conversión de Newtons a kilogramos-fuerza	77
Ficha técnica general.....	78
Codificación de cilindros Festo.....	79
5.2 elementos de control	80
5.3 alimentación y distribución de aire comprimido	85
5.3.1 Distribuidor	85
5.3.2 conexión rápida <i>push-in (racor)</i>	86

5.3.3 Línea de aire comprimido	89
CAPITULO VI. CREACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO	90
6.1 Diferencias entre una IR Y UNA OT	93
6.2 Rutina de inspección	94
6.3 propuesta de rutina de inspección	95
6.4 La importancia del mantenimiento preventivo	97
CAPITULO VII IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA NEUMÁTICO	98
7.1 desensamble	98
7.2 Descripción de la modificación	102
7.2.1 Orificios de anclaje del cilindro	103
7.2.3 Orificio de fijación y barreno para ocultar la cabeza del tornillo	105
7.3 ensamble del nuevo sistema	107
7.3.1 conexión del cilindro	107
7.3.2 conexión de la válvula de dirección	108
7.3.3 conexión de la válvula de control	110
7.3.4 suministro de aire comprimido	111
CAPITULO Vail. RECOLECCIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	114
8.1 Metodología de recolección de datos y análisis de resultados	114
8.2 Fuente de información	115
8.3 Periodo de análisis	115
8.4 Clasificación de los paros de máquina	116
8.4.1 Atascamientos en los motores	116
8.4.2 Fallos para restablecer el proceso	116
8.4.3 revisión general	116
8.5 Variables de estudio	116
8.7 Resultados del periodo previo a la actualización	118
8.8 Análisis de datos después de la actualización	121
8.8.1 Recolección y adecuación de datos en la segunda etapa del estudio	121
8.8.2 Adecuación de las categorías de paro tras la modificación	121

8.9 resultados del periodo después de la modificación	122
8.10 Comparación antes vs después de la modificación	123
Conclusión.....	124
COMPETENCIAS DESARROLLADAS.....	126
Bibliografía	127

RESUMEN

El presente reporte documenta las actividades, aprendizajes y resultados obtenidos durante el periodo de **residencias profesionales realizadas en la planta Kimberly-Clark**, en el área de mantenimiento industrial, donde se participó de manera activa en labores de **mantenimiento preventivo y correctivo en coform** orientadas a garantizar la **confiabilidad, seguridad y continuidad operativa** de los equipos productivos.

Durante este periodo, se ejecutaron diversas actividades de mantenimiento mecánico, eléctrico y neumático, entre las que destacan el **cambio de poleas y bandas**, la **toma de lecturas operativas**, ajustes mecánicos, así como trabajos básicos de **maquinado ligero y roscado (tarrajeado)** para la rectificación de tornillos y componentes. Estas actividades permitieron fortalecer la comprensión del funcionamiento de los equipos industriales y desarrollar criterio técnico para la intervención de sistemas mecánicos en condiciones reales de operación.

Asimismo, se realizaron tareas de mantenimiento en **equipos críticos del proceso**, como los **dados**, equipo que se retira de la línea de producción y se desensambla a 500 grados Fahrenheit los cuales son responsables de la salida de las fibras de polímero que conforman el material **Coform**. El mantenimiento de estos equipos resulta fundamental, ya que cualquier desviación en su operación impacta directamente en la calidad del producto final y en la estabilidad del proceso de manufactura. De igual forma, se participó en **mantenimiento correctivo a polipastos**, restablecimiento de **motores eléctricos**, así como en el **cambio de sensores**, particularmente **termopares**, utilizados para el control y monitoreo de variables térmicas en distintos sistemas.

En el ámbito eléctrico, se llevaron a cabo actividades como el **cambio de fusibles**, cambio de piezas mecánicas de desgaste, la sustitución de **fuentes de alimentación para PLC**, y la realización de **pruebas de continuidad**, contribuyendo a la recuperación de equipos y a la reducción de tiempos muertos asociados a fallas eléctricas. Paralelamente, se ejecutaron **rutinas de lubricación** en equipos mecánicos, siguiendo planes de mantenimiento establecidos, con el objetivo de reducir el desgaste, prevenir fallas prematuras y prolongar la vida útil de los componentes.

Adicionalmente, se participó en la ejecución de **órdenes de trabajo (OTS)** y **rutinas de inspección (RI)**, conforme a los procedimientos definidos por el área de ingeniería, así como en el **llenado de bitácoras de preuso** de equipos como polipastos y hornos. Estas actividades reforzaron la importancia de la documentación técnica, la estandarización de procesos y el cumplimiento de los lineamientos de **seguridad industrial**, incluyendo la aplicación de procedimientos de **bloqueo y desenergización de equipos (LOTO)** y el análisis de riesgos previo a cada intervención.

En conjunto, las actividades desarrolladas durante la residencia permitieron integrar conocimientos teóricos con la práctica industrial, fortalecer competencias técnicas y operativas,

y contribuir de manera directa al **mejor desempeño de los equipos**, a la **seguridad del personal** y a la **eficiencia del proceso productivo**, sentando una base sólida para el desarrollo profesional en el área de mantenimiento industrial.

INTRODUCCION

Durante el periodo de residencias profesionales se desarrolló el proyecto denominado **“Conversión de ajuste de slitter de sistema eléctrico a sistema neumático”**, el cual tuvo como propósito principal optimizar el proceso de ajuste de cuchillas en el equipo *slitter*, mejorando la eficiencia y reduciendo los tiempos muertos en la línea de producción.

El proyecto se llevó a cabo dentro del tiempo establecido, cumpliendo los objetivos planteados y aplicando los conocimientos adquiridos a lo largo de la formación académica. La conversión del sistema de ajuste de tipo eléctrico a uno neumático permitió implementar un mecanismo más simple, robusto y de menor mantenimiento, adecuado para las condiciones operativas del área de producción.

Este trabajo integra las etapas de análisis, diseño, implementación y validación del nuevo sistema, evidenciando los beneficios obtenidos en cuanto a reducción de fallas, facilidad de operación y mejora en la productividad del proceso de corte. Asimismo, el desarrollo de este proyecto contribuyó al fortalecimiento de las competencias técnicas y profesionales del residente, así como al mejoramiento continuo de la empresa.

DESCRIPCION DE LA EMPRESA ORGANIZACIÓN Y DEL PUESTO O AREA DE TRABAJO DEL ESTUDIANTE

Kimberly-Clark de México, Planta Tlaxcala, es una empresa mexicana dedicada a la **fabricación, distribución y comercialización de productos de limpieza, cuidado e higiene personal**. Forma parte de **Kimberly-Clark Corporation**, una compañía con presencia internacional que ha contribuido significativamente al bienestar y la calidad de vida de millones de personas en todo el mundo.

La **planta Tlaxcala** inició operaciones en **1995**, enfocándose inicialmente en la producción de **pañales y telas no tejidas**. Posteriormente, en **2001**, se amplió su capacidad productiva con la puesta en marcha de la línea de **toallitas húmedas**, incorporando una **tecnología única de Kimberly-Clark a nivel mundial**, denominada **Coform**. Esta innovación permitió el desarrollo de materiales avanzados que combinan fibras sintéticas y naturales, ofreciendo productos de alta calidad, suavidad y resistencia.

En el año **2000** se instaló la **primera máquina productora de materia prima Coform**, utilizada para la fabricación de toallitas y otros productos derivados. Más adelante, en **2018**, se inauguró

la **segunda máquina Coform**, fortaleciendo la capacidad de producción y consolidando el liderazgo tecnológico de la planta Tlaxcala en esta área.

Asimismo, Kimberly-Clark de México ha sido reconocida por su constante innovación y compromiso con el consumidor, destacando lanzamientos como el **papel higiénico Pétalo® Sensations**, desarrollado con **tecnología UCTAD**, exclusiva de la compañía.

A lo largo de más de **50 años de operación ininterrumpida en el país**, Kimberly-Clark de México se ha consolidado como una de las empresas más importantes del sector, siendo una **fuentes generadora de empleo** y desarrollo económico. Actualmente, cuenta con **ocho plantas productivas** distribuidas en el territorio nacional, **más de 8,000 colaboradores directos** y alrededor de **10,000 empleos indirectos**, impulsando diversas cadenas productivas que benefician a miles de familias mexicanas.

Su **misión** es *“mejorar la salud, la higiene y el bienestar de las personas cada día, en cada lugar, ofreciendo productos de calidad que satisfagan las necesidades de sus clientes y consumidores, con un crecimiento sano y sostenido.”*

Su **visión** es *“ser líderes mundiales en todo lo que hacemos, liderando el mundo en productos esenciales para una vida mejor, con un crecimiento sustentable que mejore la calidad de vida de millones de consumidores en todo el mundo.”*

Dentro de la **Planta Tlaxcala**, el área de **Coform** juega un papel fundamental, ya que produce la **materia prima utilizada en toallitas húmedas**, mediante procesos tecnológicos de alta precisión.

El **proceso de residencia profesional** se llevó a cabo en el **departamento de Mantenimiento del área Coform**, desempeñando el puesto de **Técnico Electromecánico**. En esta área se desarrollan actividades relacionadas con el **mantenimiento preventivo, correctivo y de mejora continua** de los equipos y sistemas electromecánicos, garantizando la continuidad operativa, la eficiencia de los procesos y la seguridad industrial.

PROBLEMAS POR RESOLVER PRIORIZANDOLOS

El departamento de Coform de la Planta Tlaxcala desempeña un papel fundamental dentro del proceso productivo de Kimberly-Clark México, ya que es el responsable de fabricar la materia prima utilizada en la elaboración de toallitas húmedas. Esta materia prima, conocida como **coform**, es una tela no tejida obtenida mediante la conformación de fibras de celulosa y polímeros, la cual se produce y se empaca en forma de rollos continuos para su posterior procesamiento en el área de wipes.

La planta Tlaxcala es actualmente **la única planta de Kimberly-Clark en México** que produce toallitas húmedas, lo que convierte al suministro de coform en un elemento estratégico para garantizar la continuidad operativa de esta línea de negocio. Debido a esta alta demanda, el departamento de Coform debe operar con elevados estándares de disponibilidad, confiabilidad y eficiencia. Cualquier paro no programado, falla en equipos auxiliares o interrupción en el flujo del proceso puede generar desabasto de materia prima, tiempos muertos y retrasos que afectan directamente la producción nacional de toallitas.

Proceso de conformado

El proceso de fabricación del material Coform inicia con la preparación de la celulosa, utilizando cuatro rollos que se montan sobre rodillos de giro lento. Las hojas provenientes de estos cuatro rollos avanzan simultáneamente y alimentan un rodillo denominado picker, el cual cuenta con una gran cantidad de dientes metálicos distribuidos en toda su superficie. La función del picker es desfibrar y pulverizar la celulosa hasta convertirla en un polvo fino adecuado para mezclarse con las microfibras poliméricas. Una vez pulverizada, la celulosa es transportada mediante un flujo de aire hacia la zona de formación, donde se combinará con el polímero fundido.

Paralelamente, el polímero en forma de pellets es alimentado mediante un sistema de vacío que lo succiona desde las tolvas y lo dirige hacia un filtro detector de metales, el cual asegura que ninguna partícula metálica ingrese al sistema. Después del filtrado, los pellets son enviados a los extrusores, donde se calientan y funden hasta alcanzar un estado fluido. El polímero fundido es impulsado a través de una zona térmica controlada mediante bombas de alto caudal hasta llegar al dado, una pieza metálica alargada encargada de distribuir el material. Dentro del dado, el polímero es expulsado por micro orificios con la asistencia de aire comprimido proveniente de los compresores primarios, proceso que atomiza el polímero y lo convierte en microfibras extremadamente finas.

Estas microfibras termoplásticas se combinan con el polvo de celulosa en la zona de formación, cayendo juntas sobre una malla transportadora que actúa como superficie de captura. En este

punto, el material adquiere la forma de una hoja continua, la cual es desplazada hacia una serie de rodillos encargados de estabilizar, limpiar y compactar la estructura. Entre estos rodillos se encuentra un rodillo cepillo que elimina partículas o fibras sueltas que no se integraron adecuadamente en la tela, garantizando una superficie más uniforme. Posteriormente, la hoja pasa a través de un par de rodillos calandras que aplican presión y temperatura para grabar patrones específicos sobre la tela, lo que mejora la resistencia, uniformidad y propiedades mecánicas del Coform.

Una vez estructurado y calandrado, el material avanza hacia el sistema de slitter, donde se recorta el exceso lateral y se define el ancho final del rollo. Los slitter utilizan cuchillas circulares de alta velocidad que producen cortes limpios y precisos, manteniendo la alineación y calidad dimensional del material. Finalmente, la banda procesada ingresa al sistema de enrollado, donde se forma un rollo compacto bajo tensión controlada. Los rollos terminados son empaquetados y enviados al almacén de materia prima, quedando listos para su uso en procesos posteriores como la fabricación de toallitas húmedas. En la parte de abajo tenemos el diagrama esquemático del proceso **Ilustración 1**



Ilustración 1 diagrama esquemático del proceso de coform

Equipos auxiliares

Para asegurar el funcionamiento adecuado de la Máquina 1 de Coform, es indispensable el correcto desempeño de los **equipos auxiliares** que dan soporte a su operación. Estos equipos — la lavadora de aire, el chiller, el sistema de vacío para recolección de polvo, vacío para el suministro de polímero, la compactadora de polvos y la compactadora de recorte— cumplen funciones críticas relacionadas con la calidad del producto, la estabilidad del proceso y la seguridad operacional. La indisponibilidad de cualquiera de ellos puede comprometer el rendimiento de la línea, ocasionar paros totales o parciales, o impactar en la calidad del coform producido.

Lavadora de aire (Air Washer)

La lavadora de aire es un sistema de tratamiento de aire diseñado para limpiar, humectar y acondicionar el flujo de aire que ingresa a la máquina de Coform. Utiliza agua atomizada y filtros internos para capturar partículas, controlar humedad y regular la calidad del aire en el área de formación del material.

El proceso de circulación de aire es el siguiente:

1. **Ingreso del aire:** El aire exterior o interior es succionado mediante un ventilador de alta capacidad.
2. **Lavado con agua:** El aire pasa a través de una sección donde se pulveriza agua mediante boquillas atomizadoras. Las gotas atrapan polvo, fibras sueltas y contaminantes.
3. **Separación de partículas:** El agua cae a un depósito inferior arrastrando las partículas, y el aire limpio continúa su trayectoria.
4. **Acondicionamiento:** Dependiendo del sistema, el aire puede ajustarse en temperatura o humedad antes de ingresar a la zona de producción.
5. **Distribución:** El aire filtrado se dirige hacia la malla de formación del coform, asegurando un entorno limpio, estable y libre de obstrucciones.

Chiller

Es un sistema de refrigeración industrial encargado de suministrar agua fría o glicol para mantener la temperatura adecuada en los equipos que requieren disipación térmica dentro del proceso de conformación. Es un circuito cerrado así que el agua con glicol retorna para ser enfriado

1. **Extracción de calor:** El chiller retira calor del proceso mediante un circuito cerrado de agua fría que pasa por intercambiadores de calor o equipos específicos de la máquina.
2. **Compresión:** El refrigerante del chiller es comprimido por un compresor, elevando su presión y temperatura.
3. **Condensación:** El refrigerante caliente pasa por un condensador, donde libera calor al ambiente o al agua de enfriamiento.
4. **Expansión:** A través de una válvula de expansión, el refrigerante baja su presión y temperatura.
5. **Evaporación:** En el evaporador, absorbe nuevamente el calor del agua del circuito y repite el ciclo.

Sistema de vacío para recolección de polvo residual

Es un sistema industrial de vacío utilizado para aspirar y recolectar el polvo, fibras sueltas y partículas que se generan durante el proceso de formación y corte del coform.

Cómo funciona

1. **Generación de vacío:** Bombas o sopladores generan una presión negativa en ductos y puntos de succión.
2. **Captura de polvo:** El polvo es aspirado directamente desde zonas críticas del proceso (malla, ductos, tolvas, formadores).
3. **Filtración:** El material capturado pasa a través de filtros de bolsas o cartuchos que separan partículas finas del flujo de aire.
4. **Depósito:** El polvo filtrado se almacena en una tolva o contenedor para su manejo seguro.
5. **Liberación de aire limpio:** El aire ya filtrado es devuelto al ambiente o al sistema, dependiendo del diseño.

Compactadora de polvos

Es un equipo diseñado para compactar y reducir el volumen del polvo residual recolectado, generando bloques o paquetes más manejables para su transporte y disposición adecuada.

Cómo funciona

1. **Recepción del polvo:** El polvo proveniente del sistema de vacío llega a la tolva.
2. **Compresión:** Un pistón o sistema hidráulico comprime el material en una cámara cerrada.
3. **Formación del bloque:** El polvo compactado adquiere una forma definida (bloque o ladrillo).
4. **Descarga:** El bloque se expulsa hacia un contenedor o área de almacenamiento.

Compactadora de recorte

Es un equipo industrial utilizado para procesar y compactar los recortes o desechos de coform generados durante la producción, principalmente en la etapa de corte o slitter.

1. **Recepción del recorte:** Los recortes son transportados a la compactadora mediante bandas o sistemas neumáticos.
2. **Compactación:** El material es prensado mediante un sistema hidráulico, formando paquetes densos.
3. **Atado o expulsión:** Dependiendo del diseño, los bloques pueden salir automáticamente o ser atados manualmente.
4. **Almacenamiento:** El material compactado se deposita en contenedores específicos.

Problemas por resolver

Dentro de este proceso, específicamente en el área de slitters, se origina el problema que será abordado en este proyecto. Durante la desfibrilación de la celulosa y la conformación del material Coform se generan grandes cantidades de partículas finas que permanecen suspendidas en el ambiente. Estas partículas, impulsadas por el flujo de aire del proceso, terminan depositándose sobre guardas, superficies planas y componentes críticos de la máquina. Como se muestra en la **ilustración 2** En particular, se acumulan de manera considerable en el sistema de slitters, compuesto por 12 porta cuchillas y 12 yunques montados sobre motores a pasos, los cuales a su vez están acoplados a dos tornillos sin fin encargado del desplazamiento longitudinal del conjunto.



Ilustración 2 partículas de polvo y polímero sobre una guarda de un motor en el área de formación, de coform planta TLax.

Cuando la posición de las cuchillas debe ajustarse, cuando la guía de material se rompe o cuando la máquina se detiene por cualquier motivo operativo, es necesario reposicionar los slitters de forma precisa. Sin embargo, debido a la acumulación de fibras y partículas, los mecanismos suelen atorarse, dificultando el movimiento natural del porta cuchillas como se observa en la **ilustración 3** de abajo. Esta condición provoca retrasos significativos en la producción. Por ejemplo, si la línea produce un promedio de 400 metros de Coform por minuto y el tiempo promedio para desatascar el sistema durante un mantenimiento correctivo es de aproximadamente 40 minutos, el resultado es una pérdida directa de producción equivalente a 16 000 metros cuadrados no fabricados durante ese intervalo.

Además de la pérdida de productividad, existen otros efectos negativos asociados al problema. El primero es el desgaste prematuro de los materiales: al encontrarse las guías, rodamientos y tornillos sin fin trabados, los operadores frecuentemente se ven obligados a aplicar fuerza adicional para desbloquear los porta cuchillas, lo cual acelera el deterioro de los componentes mecánicos. El segundo es la pérdida de precisión en el corte. Cuando los slitters no se desplazan suavemente, la cuchilla puede no posicionarse con exactitud respecto al yunque, lo que genera variaciones en el ancho del material, cortes irregulares y la posible generación de scrap adicional.

Finalmente, la acumulación excesiva de fibras también complica las labores de mantenimiento. Actividades que originalmente deberían ser parte de un mantenimiento preventivo—como la limpieza ligera de superficies, remoción de polvo y lubricación de guías—terminan convirtiéndose en mantenimientos correctivos más complejos, que incluyen la desinstalación parcial o total del sistema, limpieza profunda y reinstalación de los slitters. Esto incrementa el tiempo fuera de operación de la máquina, incrementa los costos y afecta directamente la eficiencia global del equipo



Ilustración 3 Acumulación de fibras y partículas en el área del porta cuchillas, que provoca atascamientos mecánicos durante la operación del slitter.

Objetivos General:

Incrementar la **eficiencia operativa de la línea de producción de material Coform** en la planta Tlaxcala de **Kimberly-Clark de México**, mediante la **sustitución del sistema de posicionamiento eléctrico del slitter** por un **sistema neumático** que reduzca los tiempos muertos ocasionados por atascamientos y mantenimiento correctivo, garantizando una operación más continua, confiable y rentable.

Objetivos Específicos:

1. **Diseñar y adaptar un sistema de control neumático** manual, basado en el principio operativo del sistema utilizado en la segunda máquina Coform, que permita el ajuste preciso de los porta cuchillas sin recurrir a componentes eléctricos sensibles al polvo.
2. **Implementar e instalar el nuevo sistema neumático** en un periodo estimado de **18 semanas**, asegurando su correcta integración con los mecanismos existentes y el cumplimiento de los estándares de seguridad industrial.
3. **Evaluar el desempeño del nuevo sistema**, midiendo la **reducción porcentual del tiempo de ajuste y de los paros por mantenimiento**, para validar su impacto en la eficiencia global del proceso.

JUSTIFICACION

El presente proyecto se desarrolla en el departamento de Mantenimiento del área Coform de **Kimberly-Clark de México**, Planta Tlaxcala, con el propósito de mejorar la eficiencia operativa del sistema de posicionamiento de slitter de la máquina de coform 1, un componente crítico dentro del proceso de producción de material Coform.

El material Coform constituye una materia prima esencial para la elaboración de productos de alta demanda, de toallitas húmedas. Dada la magnitud y constancia de la producción, cualquier tiempo muerto, incluso de corta duración, representa pérdidas económicas significativas para la empresa, afectando tanto la productividad como la capacidad de respuesta ante la demanda del mercado.

Actualmente, el **sistema de posicionamiento eléctrico** empleado en la máquina slitter utiliza servomotores y tornillos sin fin para el ajuste del porta cuchillas. Sin embargo, debido a la acumulación de polvo y residuos generados durante el proceso de conformación, estos componentes se ven expuestos a fallas y atascamientos frecuentes. Los sistemas de recolección de residuos existentes no logran eliminar completamente estas partículas, lo que ocasiona interrupciones recurrentes por labores correctivas de limpieza y mantenimiento, prolongando los tiempos de paro no programados.

Ante esta problemática, se propone la conversión del sistema de posicionamiento eléctrico a un sistema neumático, más robusto, simple y menos susceptible a fallas por la presencia de polvo. Esta modificación permitirá:

- Reducir la vulnerabilidad a atascamientos y fallas, al eliminar componentes eléctricos sensibles.
- Disminuir los tiempos de ajuste de posición, gracias a un sistema más rápido y confiable.
- Optimizar la disponibilidad y continuidad operativa de la línea de producción.
- Aumentar la rentabilidad, al reducir costos por mantenimiento correctivo y pérdidas asociadas a los tiempos muertos.

En la planta Tlaxcala, los sistemas de corte son manufacturados por la empresa Dienes, y actualmente existen dos máquinas productoras de rollos de material Coform. La segunda máquina, incorporada en 2018, cuenta con un sistema de corte con cuchillas muy similar al de la primera, con la diferencia de que el yunque (un disco sin filo contra el cual la navaja circular presiona el material para realizar el corte) se encuentra montado en un eje con posiciones fijas, mientras que únicamente el porta cuchillas se desplaza sobre un riel. Este movimiento se asegura

mediante un pistón neumático, conformando un sistema manual y sencillo que no presenta fallas por acumulación de polvo.

Debido a su simplicidad y confiabilidad, este diseño de la segunda máquina se tomará como referencia para modificar el sistema de posicionamiento de la primera máquina *slitter*, sustituyendo el sistema eléctrico por un sistema manual neumático.

La implementación de este proyecto contribuirá directamente a fortalecer la eficiencia y estabilidad del proceso productivo, garantizando la capacidad de Kimberly-Clark de México, Planta Tlaxcala, de mantener una operación continua, rentable y alineada con los estándares de calidad e innovación que distinguen a la empresa.

MARCO TEORICO

Coform 1 o Máquina 1 corresponde a la primera línea instalada en la planta, creada en el año **2008**, y comprende tanto la maquinaria, los equipos y la infraestructura necesarios para la producción del material. Por otro lado.

Coform 2 o Máquina 2 fue inaugurada en **2017** y cuenta con equipos que, aunque presentan diferencias de diseño, realizan el mismo proceso de manufactura que la primera línea.

El **coform** es un material no tejido con características similares al papel, utilizado como materia prima en la fabricación de **toallitas húmedas** y otros productos de higiene. Este material se obtiene a través de un proceso de **conformación de celulosa y polímero**, lo que le otorga propiedades de suavidad, resistencia y absorción.

Los **rodamientos lineales** son elementos mecánicos diseñados para permitir el desplazamiento suave y controlado de componentes a lo largo de un eje. Su función es reducir la fricción entre las partes móviles, garantizando un movimiento rectilíneo estable y preciso. En el sistema de *slitters*, los rodamientos lineales se emplean en los ejes de soporte y en los mecanismos de desplazamiento de los porta cuchillas, permitiendo un posicionamiento exacto sin pérdidas de alineación. Estos rodamientos están fabricados generalmente con acero templado y presentan alta resistencia al desgaste, lo cual es indispensable en ambientes industriales donde las vibraciones y las cargas laterales son constantes.

El **sistema de vacío** tiene como propósito la recolección del *trim*, es decir, los recortes o residuos generados durante el proceso de corte. Mediante la succión de aire controlada, este sistema transporta el material sobrante desde el punto de corte hacia un depósito o sistema de reciclaje. Está compuesto por boquillas de succión, ductos de transporte, un separador ciclónico y un ventilador centrífugo de alta capacidad. Su funcionamiento evita la acumulación de residuos,

mejora la limpieza del área de trabajo y reduce riesgos asociados al polvo o a posibles obstrucciones en las cuchillas. Además, contribuye a mantener condiciones seguras y eficientes en la zona de corte.

El **porta cuchillas** es el conjunto mecánico encargado de sostener y fijar las cuchillas circulares empleadas en el corte del material. Este componente permite ajustar la posición de la cuchilla con precisión a lo largo del eje de corte, adaptándose al ancho requerido por cada orden de producción. Su diseño está pensado para resistir vibraciones y cargas dinámicas, además de facilitar el montaje y desmontaje de las cuchillas para su mantenimiento o reemplazo. En sistemas automatizados, el porta cuchillas se desplaza mediante actuadores eléctricos o neumáticos, manteniendo una alineación constante con el yunque o contra cuchilla.

El **tornillo sin fin** es un elemento de transmisión mecánica que convierte el movimiento rotativo en movimiento lineal. En el sistema de posicionamiento del *slitter*, el tornillo sin fin trabaja en conjunto con el motor paso a paso para desplazar el porta cuchillas con gran exactitud. Su rosca helicoidal, al girar, impulsa el desplazamiento controlado del conjunto móvil, permitiendo ajustes de fracciones de milímetro. Este mecanismo garantiza una alta precisión en el posicionamiento de las cuchillas, siendo fundamental en aplicaciones donde los anchos de corte deben mantenerse dentro de tolerancias muy estrictas.

El término **trim** hace referencia al material sobrante que se genera en los bordes de la banda principal al realizar los cortes longitudinales. Este recorte no forma parte del producto final y debe eliminarse del proceso para evitar contaminaciones, enredos o daños en el sistema. En las máquinas *Coform*, el trim es retirado mediante el sistema de vacío, que lo conduce hacia un colector o contenedor para su posterior disposición o reciclaje. Controlar eficientemente el manejo del trim permite mantener la línea de producción continua y sin interrupciones.

La **cuchilla circular** es el componente encargado de efectuar el corte del material. Su forma circular permite un corte continuo y uniforme, reduciendo la fricción y el desgaste comparado con una cuchilla lineal. Está fabricada con aceros de alta dureza o aleaciones especiales que le otorgan una excelente capacidad de retención de filo. Durante el proceso, la cuchilla circular trabaja en conjunto con un yunque o contra cuchilla, generando un efecto de cizallado que separa el material con precisión sin causar deformaciones.

El **rodillo** cumple un papel esencial dentro del sistema, ya que guía, sostiene y tensiona el material durante su desplazamiento por la línea de corte. En particular, los rodillos Fife o rodillos libres se encargan de mantener la alineación y tensión adecuada del material antes y después del corte, asegurando que la banda se desplace de manera uniforme. Estos rodillos suelen estar montados sobre rodamientos de alta precisión que permiten un giro suave, minimizando el desgaste y asegurando la estabilidad del proceso.

El **motor a pasos** o motor paso a paso es un actuador eléctrico que convierte señales eléctricas en movimiento mecánico rotacional mediante pasos discretos. A diferencia de un motor convencional, su control digital permite mover el eje con precisión angular definida, lo que lo hace ideal para sistemas de posicionamiento automático. En el *slitter*, este motor acciona el tornillo sin fin para mover los porta cuchillas hacia la posición deseada, logrando ajustes exactos en el ancho de corte sin necesidad de intervención manual. Su funcionamiento coordinado con el sistema de control garantiza una alta repetibilidad en cada ciclo de producción.

Finalmente, el **pistón** o actuador neumático es un dispositivo que transforma la energía del aire comprimido en movimiento mecánico lineal. Se utiliza principalmente en sistemas donde se requiere ejercer fuerza para sujetar, bloquear o mover componentes de forma rápida y segura. En el sistema manual de *slitters*, el pistón cumple la función de fijar el porta cuchillas en la posición deseada una vez que ha sido alineado por el operador, asegurando la estabilidad del conjunto durante el proceso de corte. Su diseño permite una sujeción firme, con tiempos de respuesta rápidos y una operación confiable.

Técnico de Control de Procesos (TCP) es el responsable de supervisar, ajustar y asegurar que los parámetros operativos de la maquinaria se mantengan dentro de los rangos establecidos por la producción. En sistemas automatizados, como los *slitter* de coform, el TCP introduce las dimensiones de corte, monitorea los equipos y verifica que los actuadores, sensores y motores ejecuten los movimientos programados. Su función es garantizar la estabilidad del proceso, minimizar desviaciones y actuar en caso de fallas o desajustes. Un desempeño adecuado del TCP reduce desperdicios, mejora la precisión del corte y evita paros no programados.

Celulosa es un polímero natural compuesto principalmente por fibras vegetales, proveniente generalmente de pulpa de madera. En la fabricación de coform, la celulosa se presenta en rollos que alimentan al rodillo picker, donde es pulverizada hasta convertirse en partículas finas. Estas partículas se mezclan con fibras sintéticas para formar una trama homogénea sobre la malla de formación. Su granulometría, pureza y humedad influyen directamente en la calidad del material final, ya que afectan la forma en que la celulosa se adhiere y se combina con las microfibras poliméricas.

Pellet (Polímero en pellets) son pequeñas esferas o cilindros de polímero termoplástico que funcionan como materia prima en procesos de extrusión. En el sistema de coform, los pellets se transportan por vacío hacia tolvas donde son filtrados y posteriormente alimentados a los extrusores. Dentro del extrusor, el polímero es fundido y luego enviado al dado, donde se atomiza para formar microfibras. La calidad del pellet (densidad, humedad, aditivos, tamaño) condiciona la estabilidad del flujo de extrusión, la calidad de fibra generada y la eficiencia energética del proceso.

Guía (Banda o Web) La guía es la banda continua de material —en este caso, la hoja de coform— que se desplaza a través del sistema mediante rodillos. Su alineación es fundamental para obtener un corte preciso, evitar tensiones irregulares y prevenir deformaciones. Sistemas especializados como los rodillos Fife utilizan sensores ópticos o ultrasónicos para detectar y corregir la posición lateral de la guía. Una guía mal alineada puede provocar atascamientos en los porta cuchillas, desgaste prematuro y mayor generación de desperdicio.

Mantenimiento Predictivo consiste en realizar intervenciones programadas basadas en la condición real del equipo. Utiliza mediciones como vibración, temperatura, presión, consumo eléctrico o desgaste para anticipar fallas antes de que ocurran. En máquinas de coform, este tipo de mantenimiento permite identificar alineaciones deficientes, desgaste de cuchillas, acumulación de partículas y degradación de actuadores eléctricos o neumáticos. Su aplicación reduce la probabilidad de paros inesperados, optimiza los recursos y prolonga la vida útil de los componentes.

Mantenimiento Correctivo es la intervención que se realiza después de que el equipo presenta una falla o desajuste que afecta la continuidad operacional. En el área de slitter, los mantenimientos correctivos suelen generarse por atascamientos debidos a acumulación de partículas, fallas en motores a pasos, desalineación del tornillo sin fin o pérdida de fuerza en los mecanismos de bloqueo. Aunque es inevitable en ciertos casos, su exceso afecta la productividad, genera desperdicios y aumenta los tiempos muertos de producción.

Compresor es el dispositivo encargado de generar aire comprimido para alimentar los sistemas neumáticos de la maquinaria. En un proceso industrial, el compresor suministra el aire que posteriormente es regulado, filtrado y distribuido hacia cilindros, válvulas y actuadores. Su capacidad, caudal y presión de trabajo determinan el rendimiento de los sistemas neumáticos. En la fabricación de coform, el aire comprimido es esencial tanto en el proceso de atomización del polímero como en el uso de actuadores en el slitter.

Aire a Presión es aire comprimido y almacenado en un sistema neumático para realizar trabajo mecánico. Se utiliza para accionar cilindros, mover actuadores, accionar válvulas y generar flujos controlados dentro de la industria. Su calidad debe mantenerse mediante filtración y secado, ya que la humedad o partículas pueden dañar los componentes. La estabilidad de la presión es clave para que los cilindros del sistema de bloqueo operen correctamente, generando la fuerza necesaria en cada ciclo.

PSI y Bar (Unidades de Presión) PSI (libras por pulgada cuadrada) y Bar son unidades que se emplean para medir la presión en sistemas hidráulicos y neumáticos.

- **1 bar equivale aproximadamente a 14.5 psi.**
- Los sistemas neumáticos industriales suelen operar entre 80 y 100 psi (5.5 a 7 bar).

La elección de la presión adecuada es fundamental para el dimensionamiento de cilindros, evitando que produzcan una fuerza insuficiente o excesiva. En el sistema propuesto para los porta cuchillas, la presión disponible determinará el diámetro del cilindro necesario para asegurar un bloqueo adecuado.

El múltiple o distribuidor es un bloque con varias salidas diseñado para dividir una línea principal de aire comprimido en múltiples derivaciones. Permite alimentar varios cilindros o válvulas desde una misma fuente, manteniendo un orden adecuado en la instalación neumática. Su diseño compacto reduce la cantidad de conexiones largas, minimiza fugas y facilita la administración del flujo de aire hacia diferentes componentes del sistema, como los porta cuchilla

El émbolo es el elemento interno del cilindro neumático que se desplaza debido a la presión del aire. Su movimiento lineal es el que genera la fuerza mecánica necesaria para empujar, retraer o bloquear un componente. En el caso del sistema de slitter, el émbolo se encarga de ejercer presión sobre la estructura, bloqueando el porta cuchillas para impedir su desplazamiento durante el proceso de corte.

Una **válvula neumática** es el dispositivo encargado de dirigir, interrumpir o modificar el flujo de aire comprimido dentro de un sistema. Puede operar manualmente, por solenoide o por señal eléctrica. En el sistema del proyecto, se utilizan válvulas tipo 3/2 (tres vías y dos posiciones) para controlar la extensión y retracción del cilindro. Estas permiten liberar o aplicar presión según el estado del comando del operador.

El ajuste se refiere al proceso de posicionar un componente mecánico en la ubicación requerida para su operación. En el slitter, el ajuste consiste en colocar cada porta cuchillas en el ancho de corte especificado por la orden de producción. Este proceso debe realizarse con precisión milimétrica para asegurar cortes rectos, uniformes y de la calidad requerida.

El **manómetro** es un instrumento utilizado para medir la presión del aire dentro de una línea neumática. Se integra comúnmente en reguladores de presión, permitiendo al operador observar el nivel de presión suministrado a cilindros y válvulas. Mantener una presión adecuada es esencial para garantizar que los cilindros generen la fuerza necesaria para bloquear el porta cuchillas sin dañar los componentes.

Los racores son conectores utilizados para unir mangueras neumáticas con válvulas, cilindros o distribuidores. Existen racores rectos, en "T" y acodados, permitiendo adaptarse a la geometría

de la máquina. Su función es asegurar una conexión hermética que evite fugas y mantenga la eficiencia del sistema.

El silenciador neumático se instala en las salidas de escape de las válvulas para reducir el ruido generado al liberar aire comprimido. También ayuda a controlar la velocidad de salida del aire, evitando turbulencias y protegiendo los elementos internos de la válvula. Su uso es crucial para mejorar las condiciones ergonómicas del operador en zonas donde los ciclos de activación son frecuentes.

El movimiento lineal es el desplazamiento de un objeto a lo largo de una trayectoria recta. En maquinaria industrial, este movimiento se puede generar mediante motores eléctricos, tornillos sin fin o cilindros neumáticos. Los porta cuchillas del slitter se desplazan linealmente sobre rieles gracias a rodamientos diseñados para minimizar el rozamiento.

Los rodamientos lineales son dispositivos mecánicos que permiten el desplazamiento suave de un componente a lo largo de un riel. Están diseñados para soportar cargas axiales y radiales mientras mantienen precisión y baja fricción. En el sistema de slitter, los porta cuchillas se apoyan en dos rodamientos lineales para facilitar su deslizamiento al ajustar la posición de corte.

El relé de seguridad procesa estas señales y determina si la máquina debe detenerse. Está diseñado con arquitectura de redundancia interna para prevenir fallas, garantizando que, ante una anomalía, se active un paro seguro.

El paro de emergencia es un dispositivo manual diseñado para detener de inmediato toda la maquinaria cuando existe un riesgo para el personal o daño potencial para el equipo. Su activación interrumpe la alimentación eléctrica o neumática hacia los actuadores, dejando la máquina en estado seguro. Es un elemento obligatorio de seguridad industrial

El **receptor** es el dispositivo que recibe la señal enviada por un emisor o sensor y la comunica al sistema de control. En sistemas de seguridad, el receptor interpreta la señal del emisor y determina si la operación puede continuar de forma segura. Puede utilizarse para verificar el estado de barreras, puertas de seguridad o paros remotos.

Gestión del mantenimiento Conjunto de actividades orientadas a planear, organizar, ejecutar y controlar las acciones de mantenimiento, con el objetivo de asegurar la disponibilidad, confiabilidad y seguridad de los equipos industriales, optimizando el uso de recursos y reduciendo fallas no programadas.

Bitácora de mantenimiento Registro documental donde se anotan las intervenciones realizadas a los equipos, incluyendo fechas, tipo de mantenimiento, fallas detectadas y acciones ejecutadas, permitiendo el seguimiento histórico y el análisis del desempeño de los activos.

Orden de trabajo (OT) Documento formal que autoriza y describe una actividad específica de mantenimiento, indicando el equipo a intervenir, las tareas a realizar, los recursos necesarios y el tiempo estimado de ejecución.

Paro no programado Interrupción inesperada de la operación de un equipo o proceso, generalmente ocasionada por fallas mecánicas, eléctricas o de control, que impacta negativamente la continuidad productiva.

Tiempo muerto Periodo durante el cual un equipo permanece detenido y no genera producción, como consecuencia de paros programados o no programados, ajustes, fallas o actividades de mantenimiento.

Sistema de control Conjunto de dispositivos y elementos que regulan el funcionamiento de un proceso industrial, permitiendo operar los equipos de forma segura, repetible y conforme a parámetros establecidos.

Válvulas direccionales Dispositivos neumáticos encargados de controlar el sentido del flujo de aire comprimido hacia los actuadores, determinando el movimiento y la posición de los cilindros.

Pilotaje neumático Método de accionamiento de válvulas mediante señales de aire comprimido, utilizado para controlar sistemas neumáticos de forma confiable en ambientes industriales adversos.

Recolección de datos Proceso sistemático de obtención de información relevante sobre la operación de un sistema, necesario para evaluar su desempeño y sustentar análisis técnicos.

Análisis cuantitativo Evaluación de datos numéricos mediante métodos matemáticos y estadísticos, con el fin de medir, comparar y determinar el impacto de eventos operativos o fallas.

Clasificación de paros Proceso de agrupación de los eventos de paro según su causa, tipo o severidad, facilitando la identificación de fallas recurrentes y áreas de mejora.

Variables de estudio Parámetros seleccionados para el análisis de un proceso, tales como duración de paros, frecuencia, tipo de falla o producción no realizada.

Tabla de recolección de datos Herramienta utilizada para organizar de forma estructurada la información obtenida durante la operación o el mantenimiento de un sistema.

Gráficas de barras Representación visual utilizada para comparar frecuencias o magnitudes entre diferentes categorías o eventos.

OT Abreviatura de orden de trabajo, utilizada para identificar y dar seguimiento a las actividades de mantenimiento programadas o correctivas.

RI Abreviatura de rutina de inspección, que corresponde a revisiones periódicas estandarizadas para verificar el estado de los equipos.

Productividad industrial Indicador que relaciona la cantidad de producción obtenida con los recursos utilizados, reflejando la eficiencia del proceso productivo.

Capacidad de producción Cantidad máxima de producto que un sistema puede fabricar en un periodo determinado bajo condiciones normales de operación.

Velocidad de producción Ritmo al cual se genera el producto durante el proceso, expresado generalmente en unidades producidas por unidad de tiempo.

Producción no realizada Volumen de producción que se deja de generar como consecuencia de paros, fallas o tiempos muertos en el proceso.

Costo por tiempo muerto Impacto económico asociado a la detención de los equipos, derivado de la pérdida de producción y del uso ineficiente de recursos.

Eficiencia del proceso Grado en que un sistema opera de manera continua y estable, minimizando pérdidas, reprocesos y tiempos muertos.

Mejora continua Enfoque orientado a la optimización constante de los procesos mediante la identificación de fallas y la implementación de acciones de mejora.

Modificación de proceso Cambio planificado en un sistema productivo con el objetivo de mejorar su desempeño, confiabilidad o seguridad.

Optimización del sistema Proceso de ajuste y mejora de un sistema para alcanzar su máximo desempeño operativo con los recursos disponibles.

Reducción de tiempos muertos Acciones orientadas a disminuir la duración y frecuencia de paros, incrementando la disponibilidad del equipo.

Estabilidad operativa Capacidad de un proceso para operar de forma consistente, con mínimas variaciones y fallas durante periodos prolongados.

Evaluación de mejoras Análisis de los resultados obtenidos después de implementar cambios en un sistema, comparando indicadores antes y después de la mejora.

Delimitación.

alcance del proyecto, éste se centra exclusivamente en la conversión del sistema de posicionamiento de los slitter del Slitter, reemplazando el sistema automático eléctrico por un sistema manual con actuadores neumáticos. la implementación se llevará a cabo únicamente en la planta de Kimberly-Clark Tlaxcala en área de coform no se contemplan instalaciones ni ajustes fuera de esa localización. el proyecto debe completarse en un periodo de 18 semanas, abarcando todas las fases: diseño, adquisición o adaptación de piezas, instalación, puesta en marcha, pruebas finales y ajustes menores. Las modificaciones al equipo original deben ser mínimas, con el objetivo de reducir costos, minimizar el tiempo de trabajo y la mano de obra. se utilizará personal interno de ingeniería y mantenimiento de la planta, evitando subcontrataciones externas. En el uso de materiales, se harán uso preferente de piezas ya existentes o de adquisición local para facilitar mantenimientos futuros. Se considerarán también las normas corporativas de EHS (Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente) de Kimberly-Clark de México, de modo que todas las modificaciones cumplan con los estándares internos y legales aplicables en materia de seguridad industrial, protección ante fallas eléctricas o neumáticas, ergonomía, y prevención de riesgos laborales.

Cronograma preliminar de actividades (Gráfica de Gantt).
Conforme a Formato para Seguimiento de Proyecto de
Residencias Profesionales – Cronograma (TecNM-
APIZACO-LI-PO-05-04)

ACTIVIDAD		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Visitas con el asesor interno																			
Capacitación técnica, trabajos peligrosos y procesos de conformado	P																		
	R																		
Recolección de información de sistema de posicionamiento eléctrico	P																		
	R																		
Análisis de sistema de posición de slitter	P																		
	R																		
Adaptación del sistema neumático	P																		
	R																		
Selección de actuadores para sistema de posicionamiento	P																		
	R																		
Creación de un plan de mantenimiento	P																		
	R																		
Implementación del Sistema neumático	P																		
	R																		
Recolección de datos y análisis de resultados	P																		
	R																		
OBSERVACIONES																			

Tabla 1 Cronograma de actividades a realizar durante las residencias

CAPITULO I CAPACITACIÓN Y FORMACIÓN EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y PROCESOS DE COFORM

Para el ingreso a las instalaciones de **Kimberly-Clark planta Tlaxcala**, tanto personal propio como contratistas deben cumplir obligatoriamente con un programa inicial de **capacitaciones en seguridad, prácticas operativas y procesos industriales**, conforme a las políticas corporativas de la empresa. Estas capacitaciones se imparten durante la **primera semana de incorporación** y constituyen un requisito indispensable para poder operar, intervenir o permanecer en áreas productivas.

El objetivo principal de este capítulo es documentar las capacitaciones recibidas durante esta etapa inicial, las cuales proporcionan los conocimientos fundamentales para comprender las condiciones reales de operación del sistema de Coform, los riesgos asociados a las actividades industriales y las medidas de control necesarias para garantizar la seguridad del personal, la integridad de los equipos y la continuidad del proceso productivo.

Las capacitaciones descritas a continuación resultan especialmente relevantes para el desarrollo del presente proyecto, ya que permiten entender el contexto operativo, las limitaciones técnicas bajo las cuales se realizan las actividades de mantenimiento y operación.

1.1 Tres responsabilidades de seguridad: Verlo, Adueñarse y Resolverlo

La cultura de seguridad de Kimberly-Clark se basa en la participación de todos los colaboradores, independientemente de su puesto o función. El principio de **Verlo, Adueñarse y Resolverlo** se aplica de manera transversal en todas las áreas de la empresa y forma parte de las capacitaciones iniciales y recurrentes.

En la práctica, *Verlo* implica que cualquier trabajador, al detectar una condición insegura, como acumulación excesiva de fibras en mecanismos, cables expuestos o actuadores obstruidos, tiene la obligación de reconocer el riesgo sin esperar a que ocurra una falla o accidente. Esta observación constante es especialmente relevante en áreas de proceso continuo, donde pequeñas anomalías pueden derivar en paros no programados.

Adueñarse significa que el trabajador asume la responsabilidad inmediata sobre la situación detectada, ya sea reportándola formalmente, delimitando el área o deteniendo el equipo si existe riesgo inminente. En la empresa, este enfoque evita la dependencia exclusiva del personal de mantenimiento o supervisión, fomentando una cultura preventiva.

Finalmente, *Resolverlo* implica implementar una solución definitiva, la cual puede incluir limpieza, ajuste mecánico, corrección de procedimientos o incluso modificaciones de diseño. Este principio se relaciona directamente con el presente proyecto, ya que la identificación recurrente de fallas asociadas al sistema de posicionamiento llevó a la propuesta de conversión del sistema eléctrico a uno neumático.

1.2 Trabajos en caliente

Los trabajos en caliente representan una actividad crítica dentro de la planta debido a la naturaleza del proceso de Coform, el cual genera polvos combustibles que incrementan el riesgo de incendio o explosión. Por esta razón, la empresa ha establecido procedimientos estrictos para autorizar y ejecutar este tipo de trabajos.

En la operación diaria, cualquier actividad que implique soldadura, corte, esmerilado o generación de chispas debe ser previamente evaluada mediante un **análisis de riesgos** y autorizada a través de un **permiso de trabajo en caliente**. Este permiso es emitido por personal autorizado y define las condiciones de seguridad, el área de trabajo, la vigencia del permiso y los responsables.

Dentro de la empresa, estos trabajos suelen realizarse durante ventanas de mantenimiento programado o en áreas especialmente acondicionadas. La presencia de un vigía contra incendios, el retiro de materiales combustibles y la disponibilidad inmediata de equipos de extinción son medidas obligatorias.

1.3 Trabajos en alturas

Los trabajos en alturas son frecuentes en la planta debido a la configuración de los equipos, ductos, sistemas de ventilación y estructuras elevadas. Kimberly-Clark establece que toda actividad realizada a una altura igual o mayor a 1.8 m debe cumplir con un procedimiento específico de seguridad.

En la empresa, estos trabajos solo pueden ser ejecutados por personal capacitado y certificado, utilizando sistemas de protección contra caídas como arneses, líneas de vida y puntos de anclaje certificados. Además, se asignan roles definidos, incluyendo responsable de la actividad y personal de apoyo en tierra. La correcta aplicación de estos procedimientos es especialmente relevante durante actividades de mantenimiento o inspección del slitter y sistemas asociados, donde el acceso a componentes elevados es común. Estas medidas garantizan que las

intervenciones se realicen de forma segura y controlada, reduciendo riesgos para el personal y evitando interrupciones innecesarias del proceso.

1.4 Espacios confinados

Dentro de la planta existen múltiples áreas clasificadas como espacios confinados, tales como ductos de aire, cámaras de ventilación y equipos cerrados. El ingreso a estos espacios representa un riesgo elevado debido a la posible presencia de atmósferas peligrosas, deficiencia de oxígeno o acumulación de contaminantes.

La empresa aplica estrictamente la **NOM-033-STPS-2015**, exigiendo permisos de entrada, monitoreo atmosférico continuo y planes de rescate antes de permitir cualquier intervención. Estas actividades solo pueden ser realizadas por personal entrenado y autorizado.

Durante las residencias se apoyara a realizar estas actividades, este conocimiento resulta relevante al considerar labores de limpieza profunda o inspección interna de equipos relacionados con el proceso, ya que cualquier intervención debe alinearse con estos procedimientos para garantizar la seguridad del personal.

1.5 Seguridad de peatones y vehículos en planta industrial

La interacción entre peatones y equipos móviles es un aspecto crítico dentro de la operación diaria de la planta. Kimberly-Clark ha establecido rutas claramente delimitadas, señalización visible y normas estrictas de circulación para minimizar riesgos.

Los operadores de montacargas deben contar con certificación vigente y realizar inspecciones previas a su uso, mientras que los peatones deben respetar las rutas asignadas y mantener conductas seguras. Esta convivencia controlada reduce incidentes y contribuye a la eficiencia operativa.

Durante actividades de mantenimiento estas normas permiten coordinar de manera segura el traslado de materiales, y principalmente el producto terminado a los almacenes .

1.6 Instalación eléctrica provisional

Las instalaciones eléctricas provisionales son comunes durante proyectos de mejora o mantenimiento. En la empresa, estas instalaciones deben cumplir con los lineamientos de la **NOM-001-SEDE-1999**, aun cuando su uso sea temporal.

Esto incluye el uso de protecciones adecuadas, conexión a tierra, canalización correcta y señalización visible. Solo personal autorizado puede realizar estas instalaciones, asegurando que no se generen riesgos eléctricos durante la ejecución de la actividad.

1.7 Electricidad y clasificación del personal

La empresa clasifica al personal de acuerdo con su nivel de competencia en trabajos eléctricos, definiendo claramente quién puede operar, intervenir o modificar sistemas eléctricos. Esta clasificación permite asignar responsabilidades y garantizar que cada tarea sea ejecutada por personal calificado.

Los trabajos en sistemas de mayor complejidad requieren análisis de riesgos específicos y el uso de EPP especializado. La aplicación de las **Cinco Reglas de Oro** es obligatoria en cualquier intervención eléctrica

No toda el personal de mantenimiento esta calificado para hacer tarea con voltajes denominados de alta tensión o con equipos energizados estas actividades solo involucran a ingeniería eléctrica o supervisor de mantenimiento.

1.8 Equipo de Protección Personal (EPP) en Trabajos Eléctricos

El uso adecuado del Equipo de Protección Personal (EPP) en trabajos eléctricos constituye una de las principales barreras de protección frente a los riesgos asociados a la energía eléctrica dentro de la planta. En un entorno industrial como el proceso de Coform, donde coexisten motores eléctricos, tableros de control, sensores, variadores de frecuencia y sistemas de automatización, la probabilidad de exposición a descargas eléctricas, arcos eléctricos o fallas por cortocircuito es elevada, especialmente durante actividades de mantenimiento correctivo y preventivo.

La empresa establece que la selección del EPP eléctrico debe realizarse en función del nivel de riesgo calculado, del tipo de intervención y de la tensión nominal del sistema. Este enfoque permite que el trabajador cuente con protección acorde a la severidad del peligro, evitando tanto la sobreprotección innecesaria como la exposición por equipo inadecuado.

1.8.1 Componentes del EPP Eléctrico y su Función

Entre los elementos básicos del EPP eléctrico utilizados en la empresa se incluyen:

1. Casco dieléctrico con barbiquejo, diseñado para proteger contra impactos y descargas eléctricas, especialmente en áreas donde existen conductores energizados o riesgo de caída de objetos.
2. Guantes aislantes de caucho, certificados por clase de tensión (desde clase 00 hasta clase 4), los cuales evitan el paso de corriente eléctrica hacia el cuerpo del trabajador.
3. Ropa de protección antiarco, fabricada en algodón tratado o fibras especiales como Nomex, cuya función es minimizar las quemaduras en caso de un arco eléctrico.
4. Careta facial antiarco, con visor transparente, que protege el rostro y el cuello frente a radiación térmica, partículas incandescentes y proyección de material fundido.
5. Calzado dieléctrico, con suela aislante y puntera no metálica, que reduce el riesgo de paso de corriente a través del cuerpo.
6. Protección auditiva y ocular adicional, requerida cuando se realizan maniobras que generan ruido elevado o riesgo de proyección de partículas.

Todos estos elementos deben encontrarse en condiciones óptimas, libres de humedad, grietas o desgaste. En la empresa, se mantiene un registro de inspección periódica del EPP, lo cual permite garantizar su integridad antes de cada uso y refuerza la cultura de prevención en el área de mantenimiento.

1.8.2 Importancia del EPP Eléctrico en las Actividades de Mantenimiento

Durante las labores de mantenimiento, el personal se enfrenta a riesgos eléctricos derivados de ajustes en sensores, revisión de motores, pruebas de arranque y verificación de tableros. El uso correcto del EPP eléctrico permite reducir la severidad de un accidente en caso de una falla inesperada y brinda un margen de seguridad adicional mientras se ejecutan los procedimientos establecidos.

1.9 Control de Energías Peligrosas (Lockout / Tagout – LOTO)

El control de energías peligrosas es uno de los pilares fundamentales de la seguridad industrial dentro de las áreas de mantenimiento. Su objetivo principal es prevenir la liberación accidental de energía que pueda causar lesiones graves al personal, daños a los equipos o paros no programados durante actividades de reparación, ajuste o limpieza.

En la empresa, este control se implementa mediante el procedimiento Lockout/Tagout (LOTO), el cual consiste en aislar, bloquear, etiquetar y verificar la ausencia de energía en todos los puntos

donde exista riesgo. El principio básico es que ningún trabajador debe intervenir un equipo sin la certeza absoluta de que todas las fuentes de energía han sido neutralizadas.

1.9.1 Tipos de Energías Peligrosas en el Área de Mantenimiento

En el entorno industrial del proceso de Coform, el personal de mantenimiento se enfrenta a diversas formas de energía que deben ser controladas de manera específica:

1.9.2 Energía eléctrica

Presente en motores, tableros, sistemas de control y cableado. Representa uno de los mayores riesgos por la posibilidad de descargas, arcos eléctricos y quemaduras severas. Su control implica la desconexión del suministro, bloqueo físico del interruptor y verificación de ausencia de tensión, aplicando las cinco reglas de oro para trabajos eléctricos.

1.9.3 Energía neumática

Utilizada para accionar cilindros, válvulas y actuadores. El riesgo principal es la liberación repentina de presión, capaz de provocar movimientos inesperados o proyección de partículas. El control incluye el cierre de válvulas, purga de líneas y aseguramiento mecánico de los actuadores.

1.9.5 Energía hidráulica

Se encuentra en sistemas presurizados con aceite u otros fluidos. Su peligrosidad radica en la alta presión, que puede causar inyección de fluido en la piel o rupturas violentas. El control requiere descargar acumuladores y liberar presión residual antes de intervenir.

1.9.6 Energía mecánica

Asociada a partes móviles como cuchillas, engranes, bandas y resortes. El riesgo es el atrapamiento o corte. Para su control se emplean bloqueos físicos, calzas y enclavamientos mecánicos.

1.9.7 Energía térmica

Proviene de resistencias, superficies calientes o sistemas de vapor. Aunque no siempre es bloqueable, se controla mediante enfriamiento, aislamiento térmico y señalización.

1.9.8 Energías residuales o cinéticas

Se presentan cuando un equipo continúa en movimiento por inercia o mantiene energía acumulada. Estas energías requieren tiempo de espera, bloqueo mecánico y aseguramiento de componentes.

1.10 Energías No Bloqueables y Procedimientos Especiales

Existen situaciones en las que ciertas energías no pueden bloquearse completamente debido a la naturaleza del proceso o al diseño del equipo. En estos casos, la empresa establece procedimientos especiales de control que incluyen purga de energía residual, barreras físicas, monitoreo continuo y comunicación constante con el área de control.

Estas medidas son especialmente relevantes en sistemas que manejan calor, movimiento continuo o cargas electrostáticas, como ocurre en algunos componentes del proceso de Coform. La correcta aplicación de estos procedimientos permite reducir el riesgo cuando el bloqueo total no es técnicamente viable.

1.11 Polvo Combustible en Procesos de Coformado

El polvo combustible representa uno de los riesgos más críticos dentro del proceso de Coformado. La celulosa y los polímeros, al fragmentarse en partículas finas, pueden comportarse como un combustible altamente reactivo cuando se dispersan en el aire. En presencia de oxígeno y una fuente de ignición, estas partículas pueden generar incendios o explosiones de polvo.

1.11.1 El Pentágono de la Explosión y su Aplicación al Proceso

El fenómeno de explosión de polvo se explica mediante el pentágono de la explosión: combustible, oxígeno, fuente de ignición, dispersión y confinamiento. En el proceso de Coform, estos cinco elementos pueden coincidir durante la trituración, el transporte del material y el área del slitter, especialmente si no se controla adecuadamente la limpieza y ventilación.

1.11.2 Impacto del Polvo en la Operación y el Mantenimiento

Además del riesgo de incendio, la acumulación de polvo afecta directamente el funcionamiento de motores, guías, sensores y mecanismos de posicionamiento. En el sistema original del slitter, esta acumulación fue un factor determinante en los atascamientos de motores y fallas de restablecimiento, lo que refuerza la importancia de las estrategias de limpieza y control del ambiente.

1.12 Manejo de Extintores y Prevención de Incendios

El conocimiento del triángulo del fuego y de las clases de incendio permite al personal actuar de manera adecuada ante una emergencia. La empresa capacita al personal en el uso correcto de extintores, enfatizando el método PASS y la selección del agente extintor según el tipo de fuego.

El mantenimiento preventivo de los extintores, conforme a la NOM-154-SCFI-2005, asegura que estos equipos estén disponibles y operativos cuando se requieran, reduciendo el impacto de un incidente.

1.13 Manejo de Sustancias Químicas y Sistema Globalmente Armonizado (SGA)

La manipulación de sustancias químicas en mantenimiento y producción requiere controles estrictos para proteger la salud del personal y el medio ambiente. La implementación del Sistema Globalmente Armonizado permite identificar rápidamente los peligros mediante pictogramas, etiquetas y hojas de datos de seguridad (SDS).

Estas capacitaciones facilitan que el personal seleccione el EPP adecuado, aplique procedimientos de emergencia y almacene los productos de forma segura, minimizando riesgos durante las actividades diarias.

1.14 Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos

La identificación de peligros y la evaluación de riesgos constituyen la base del sistema de seguridad industrial de la empresa. Este proceso permite anticipar fallas, priorizar acciones correctivas y establecer controles efectivos antes de que ocurra un accidente.

CAPITULO II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AJUSTE DE POSICION ELÉCTRICO DEL SLITTER – MÁQUINA 1 (ANTES DE LA MODIFICACION)

Para el desarrollo del proyecto se recolectó información detallada del sistema de ajuste eléctrico instalado en la Máquina 1 (Coform 1). Este sistema constituye el mecanismo original de posicionamiento de cuchillas del *slitter*, el cual opera de manera automática mediante un motor a pasos acoplado a un tornillo sin fin.

El sistema eléctrico tiene la función de **ajustar la posición de las cuchillas circulares (navajas) y los yunques**, de acuerdo con el ancho requerido para el corte del rollo de *coform*. Dicho ajuste se realiza a través de un **punto de control central**, donde el **TCP (Técnico de Control de Procesos)** introduce las dimensiones especificadas en la orden de producción. Una vez ingresados los parámetros, el sistema realiza el desplazamiento automático de los porta cuchillas y porta yunques hasta alcanzar la posición establecida.

En total, el sistema cuenta con 12 pares de yunque y cuchilla circular, lo que le proporciona la capacidad de cortar la banda de coform en un máximo de 10 secciones, en la **Ilustración 4** se pueden observar slitters y yunques montados en el sistema durante un paro. en caso de que alguna orden de producción requiera múltiples anchos. Sin embargo, en la operación normal de la planta, el sistema se utiliza generalmente para producir un solo rollo ancho, dejando inactivos los demás porta cuchillas y porta yunques mientras permanecen en su posición de reposo.

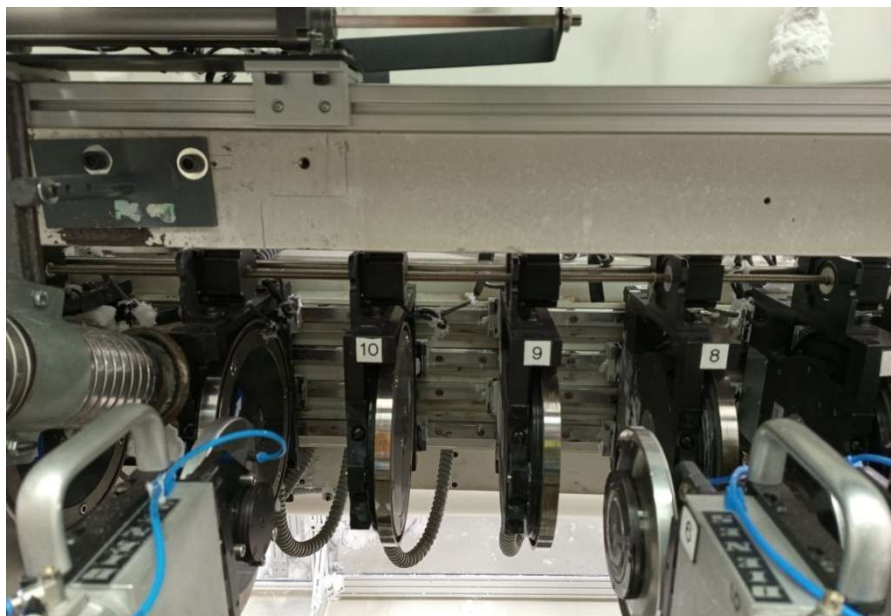


Ilustración 4 SLITTERS DE MAQUINA 1 Fuente: Elaboración propia, a partir de registro fotográfico en planta (2025).

2.1 COMO FUNCIONA EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO ELECTRICO DE MAQUINA 1

Cuando a la computadora se le introducen nuevas medidas o datos de acuerdo con la orden de producción, y se requiere un nuevo ancho de corte, como se puede observar en la **Ilustración 5** cada barra representa un yunque y un porta cuchillas al desplazarlos con el dedo el sistema hace la modificación automática, el sistema calcula primero la distancia exacta que debe recorrer cada porta cuchillas y su yunque correspondiente. Por ejemplo, si la operación demanda desplazar un porta cuchillas 100 mm, la computadora multiplica esa distancia por la resolución mecánica del tornillo sin fin (aproximadamente 0.0127 mm por paso del motor). Con base en este cálculo, el controlador determina el número preciso de pulsos eléctricos necesarios y los envía al motor a pasos correspondiente. Cada motor gira únicamente los pasos calculados, moviendo el porta cuchillas y su yunque hasta alcanzar la posición indicada con una precisión micrométrica.



Ilustración 5 menú en la estación de control para modificar la posición de slitter y yunque de manera automática

Una vez alineados frontalmente tanto el porta cuchillas como el porta yunque, se activa el mecanismo de corte. El porta cuchillas incorpora un cilindro neumático interno que impulsa la cuchilla circular hacia el yunque. Este empuje —previamente configurado por el TCP según el tipo de material y el patrón de corte— permite que la cuchilla ejerza la presión necesaria sobre la banda de coform para generar el corte por cizalla. Considerando que la cuchilla presenta un ángulo específico en su filo, el porta cuchillas integra un segundo sistema neumático que ajusta su inclinación sobre el eje axial, logrando que el filo quede perfectamente paralelo al yunque. Esta alineación es fundamental para producir un corte limpio, continuo y libre de rebabas.

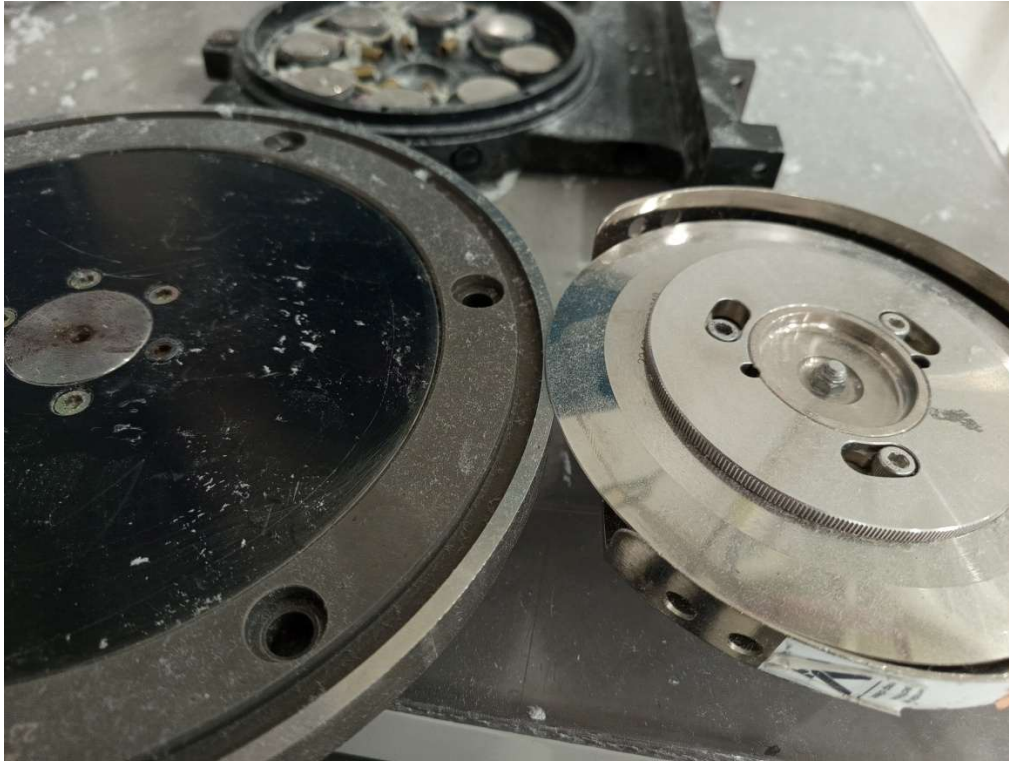


Ilustración 6 yunque y cuchilla desmontados de slitters maquina 1

En la **Ilustración 6** se aprecia el principio de **corte por cizalla** que realiza el equipo de slitter, el cual depende directamente de la variación del **grosor del material** a procesar. La calidad del corte está determinada por el **grado de contacto entre la cuchilla y el yunque**: a menor espesor del material, menor debe ser el contacto entre ambos elementos; mientras que para materiales de mayor espesor se requiere un contacto ligeramente superior para asegurar un corte efectivo y continuo.

Este ajuste de contacto se logra mediante el **sistema neumático integrado en el porta cuchillas DIENES DF50-150**, el cual permite un posicionamiento preciso y repetible del conjunto cuchilla–yunque. El uso de actuadores neumáticos proporciona una respuesta rápida y una fuerza constante, facilitando la adaptación del sistema a las diferentes condiciones de operación sin comprometer la integridad del filo ni del material.

Asimismo, en la ilustración se observa que la **cuchilla presenta un ángulo específico en el filo**, característica fundamental del corte por cizalla. Debido a este ángulo, el **porta cuchillas debe mantener una inclinación correspondiente respecto al yunque**, de modo que el filo de la cuchilla quede correctamente alineado y paralelo a la superficie de contacto. Esta condición geométrica

es indispensable para garantizar un **corte limpio, uniforme y sin desgarres**, reduciendo la generación de rebaba, el desgaste prematuro de los componentes y los rechazos por defectos en el material.

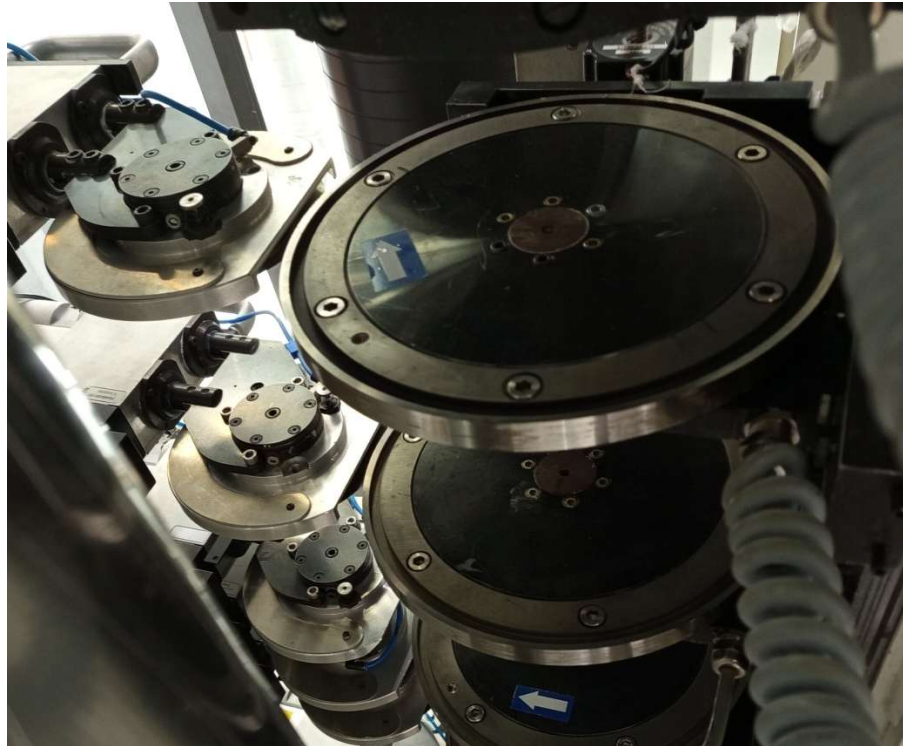


Ilustración 7 YUNQUE MONTADO ENE EL SISTEMA SLITTER DE MAQUINA 1

Por su parte, el porta yunque **Ilustración 8** también está montado sobre un motor a pasos que permite su desplazamiento lineal. Adicionalmente, la base del porta yunque cuenta con un motor independiente encargado de hacer girar el yunque **Ilustración 9**. Este movimiento rotativo debe mantenerse sincronizado con el avance de la guía de material, ya que dicha rotación evita sobrecalentamientos, distribuye el desgaste del filo y contribuye a la estabilidad del corte, especialmente durante largos periodos de operación continua.

Gracias al diseño “No Cautivo” del tornillo sin fin y de los actuadores lineales, el movimiento del porta cuchillas se ejecuta con una precisión extremadamente alta, permitiendo desplazamientos controlados en fracciones de milímetro. Esto garantiza cortes uniformes, repetitivos y exactos, siempre en concordancia con las medidas solicitadas en la orden de producción.

El sistema completo está conformado por doce unidades independientes de porta cuchillas y porta yunques, cada una de las cuales se posiciona automáticamente sin intervención manual



Ilustración 9 motor de Yunque desmontado, se encuentra en espera de mantenimiento

2.2 Motor a pasos 57000 Series Size 23 Hybrid Linear Actuators

El sistema original de posicionamiento del slitteer utiliza **dos motores a pasos modelo 57000 Series Size 23 Hybrid Linear Actuators**, **ilustración 10** los cuales están encargados de controlar el desplazamiento lineal de los porta cuchillas y yunques. fabricados por **Haydon Kerk Pittman (Ajete)**, son dispositivos de alta precisión diseñados para transformar el movimiento rotatorio de un motor en un desplazamiento lineal controlado. Están contruidos bajo el formato **NEMA 23 (57 mm)**, e integran un **husillo trapezoidal** directamente acoplado al rotor del motor, lo que elimina la necesidad de mecanismos intermedios y mejora la rigidez estructural del conjunto.

El principio de funcionamiento de estos motores se basa en el control por **pasos discretos**, donde cada pulso eléctrico enviado por el sistema de control corresponde a un avance lineal definido. Esta característica permite alcanzar altos niveles de precisión en aplicaciones donde la repetibilidad y el posicionamiento exacto son críticos, como es el caso del ajuste del traslape entre cuchilla y yunque en el proceso de corte por cizalla.

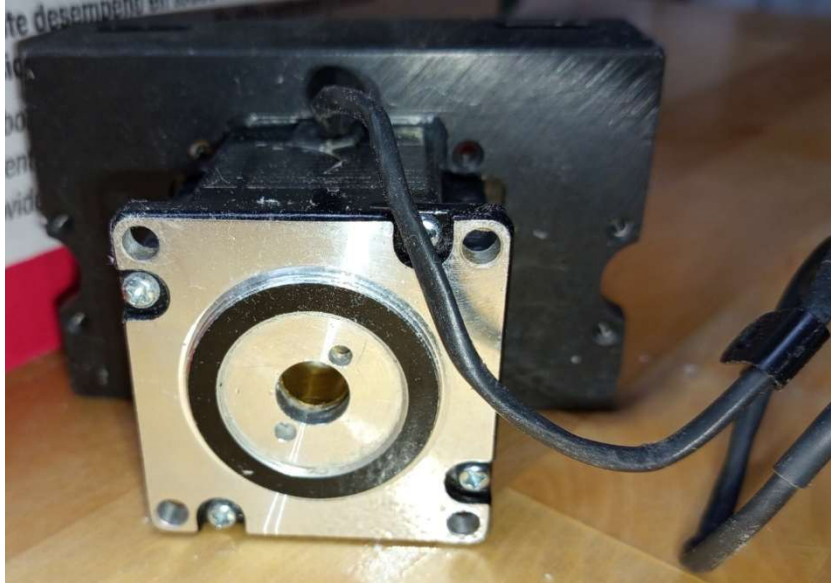


Ilustración 10 motor a pasos 57000 series size 23

2.2.1 Características generales

Estos actuadores se distinguen por su **alta precisión, durabilidad y capacidad de control fino de posición**, siendo ampliamente utilizados en aplicaciones de **automatización industrial, sistemas de ensayo, instrumentación de laboratorio y control de procesos**. Su **diseño modular** permite personalizar distintos parámetros, como la longitud de carrera, el paso del husillo, el tipo de tuerca y los materiales de fabricación, adaptándose a los requerimientos específicos de cada aplicación.

En la **Máquina 1 (Coform 1)**, este tipo de actuador se utiliza dentro del sistema de corte **DIENES**, encargado del **posicionamiento automático de porta cuchillas**. Cada porta cuchillas se monta sobre un actuador lineal que, mediante el sistema de control, ajusta su posición individualmente desde una **estación de control**, que gestiona y monitorea el desplazamiento de cada unidad. Este control permite realizar movimientos sincronizados con precisión milimétrica, garantizando la calidad del corte y reduciendo el tiempo de ajuste entre rollos.

2.2.2 Configuraciones

La serie 57000 se fabrica en tres configuraciones principales:

Captiva: En la versión captiva, el actuador integra internamente tanto el husillo como un mecanismo guía que convierte la rotación del husillo en un movimiento lineal limitado, generalmente de 25 a 75 mm de carrera.

El husillo no sale del cuerpo del motor. Dentro del actuador hay un sistema de guía telescópico o varilla deslizante que se extiende y retrae conforme gira el rotor.

Cuando el motor gira, el husillo empuja o retrae un émbolo interno, generando un desplazamiento lineal controlado sin que ninguna pieza externa gire.

No captiva (Non-Captive Type): El husillo roscado atraviesa el rotor del motor, y la tuerca interna (el rotor) se enrosca sobre él. Cuando el motor gira, el husillo se desplaza linealmente hacia adelante o hacia atrás, sin girar.

En esta configuración, el husillo puede tener cualquier longitud, lo que permite carreras largas y desplazamientos precisos sobre rieles o guías externas. Esta es la configuración usada en los slitters se puede ver el dibujo técnico en la **ilustración 12**

Externa Lineal (External Linear Type)

En la versión externa lineal, el motor paso a paso gira un husillo interno que acciona una tuerca móvil externa. Esta tuerca está unida a la pieza o mecanismo que se desea mover linealmente.

El motor hace girar el husillo, y la tuerca externa (que no puede rotar) se desplaza linealmente a lo largo del eje.

A diferencia de la versión no captiva, aquí el husillo no se mueve, sino que lo hace la tuerca, lo cual simplifica el montaje cuando se desea un movimiento estable en una dirección.



Ilustración 11 Configuraciones del actuador lineal híbrido Size 23 – serie 57000: captive, non-captive y externa lineal, Imagen extraída de la hoja de datos técnicos de los actuadores 57000 Series publicada por el fabricante.

Non-Captive Lead Screw

Dimensions = (mm) inches

Up to 16-in (457 mm) standard screw lengths. Longer screw lengths are available.

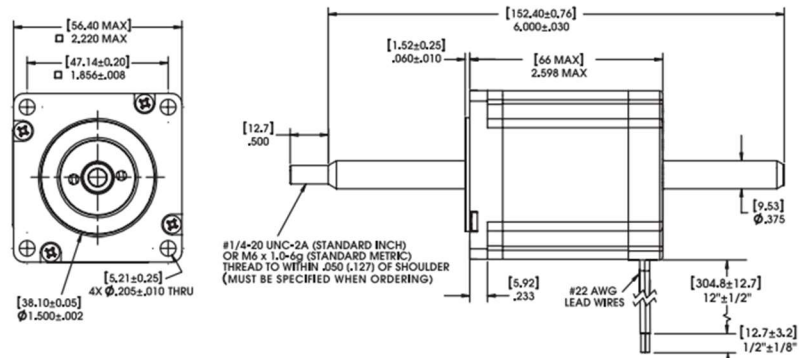


Ilustración 12 dibujo técnico de motor a pasos 57000 Series Size 23, Imagen extraída de la hoja de datos técnicos de los actuadores 57000 Series publicada por el fabricante.

2.2.3 Características eléctricas y de desempeño

Las especificaciones eléctricas y mecánicas del actuador se muestran en la **Tabla 2**, donde se detallan los valores de corriente, voltaje y resolución de desplazamiento (Haydon Kerk Pittman, s. f.). las principales características técnicas del actuador lineal híbrido a pasos Size 23, serie 57000, utilizado en el sistema original de posicionamiento de los slitters. En ella se incluyen parámetros eléctricos, mecánicos y de desempeño, tales como tipo de configuración, alimentación eléctrica, consumo de corriente, precisión de desplazamiento y condiciones térmicas de operación.

Estos datos permiten comprender el principio de funcionamiento del sistema de accionamiento eléctrico empleado, así como sus requerimientos operativos y limitaciones en un entorno industrial con presencia de polvo y fibras. Asimismo, la información mostrada constituye la base técnica para analizar el comportamiento del sistema ante condiciones de carga, fricción y contaminación, factores que influyeron directamente en la aparición de atascamientos, pérdidas de posición y fallos para el restablecimiento del proceso registrados durante la operación.

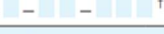
Size 23 Double Stack: 57 mm (2.3-in) Hybrid Linear Actuator (1.8° Step Angle)			
Part No.	Captive	57M4  †	
	Non-Captive	57L4  †	
	External Linear	E57M4  †	
Wiring		Bipolar	
Winding Voltage		3.25 VDC	5 VDC 12 VDC
Current (RMS)/phase		3.32 A	2.16 A 0.9 A
Resistance/phase		0.98 Ω	2.31 Ω 13.33 Ω
Inductance/phase		2.3 mH	7.6 mH 35.0 mH
Power Consumption		21.6 W Total	
Rotor Inertia		321 gcm ²	
Insulation Class		Class B (Class F available)	
Weight		32 oz (958 g)	
Insulation Resistance		20 M Ω	

Tabla 2 Datos técnicos adaptados de 57000 Series Size 23 Hybrid Linear Actuators Data Sheet, por Haydon Kerk Pittman, AMETEK (s. f.).

2.3 Sistema de Seguridad cortina de luz

El sistema de cortina de luz **MINI-SCREEN**, se muestra en la **ilustración 13** es fabricado por **Banner Engineering**, funciona como un **dispositivo de protección activa** que crea un campo de detección frente a zonas de riesgo, en este caso, el área de corte de la *máquina de Coform 1*. Este sistema está diseñado para **detener de inmediato cualquier movimiento peligroso** cuando una persona o un objeto interrumpe los haces de luz infrarroja que forman la cortina de seguridad.

El modelo implementado en la máquina es el **MSR4024Y**, el cual consta de **dos componentes principales**: un **emisor** y un **receptor**, ambos con una longitud aproximada de **1 metro**.

- El **emisor** está conformado por una serie de LEDs infrarrojos que proyectan haces de luz modulada invisible al ojo humano.
- El **receptor**, del mismo tamaño, está compuesto por una matriz de fotodetectores alineados frente a los LEDs del emisor, de manera que cada haz emitido corresponde a un punto de detección en el receptor.

Durante la operación normal, todos los haces llegan correctamente al receptor, lo que mantiene activadas las **salidas de seguridad OSSD (Output Signal Switching Device)**, permitiendo que la máquina opere con normalidad. Si una persona u objeto atraviesa la cortina, uno o varios haces se interrumpen, provocando que el receptor envíe una **señal de interrupción al módulo de control de seguridad**. Este módulo abre los **relés de seguridad**, cortando inmediatamente la alimentación del sistema o deteniendo el motor del mecanismo de corte, asegurando la protección del operador.

Una vez despejada la zona de detección y restablecida la comunicación entre el emisor y receptor, el sistema requiere un **rearme manual o automático** (dependiendo de la configuración establecida en el controlador) antes de permitir nuevamente el funcionamiento de la máquina. Este procedimiento garantiza que el operador confirme visualmente que el área se encuentra libre de obstrucciones antes de reanudar la operación.

El sistema **MSR4024Y** ofrece un **rango de detección máximo de 9 metros**, una **resolución de 19 mm** (adecuada para detección de manos o dedos), **alimentación de 24 V DC** y un **tiempo de respuesta promedio de 15 ms**, asegurando una reacción inmediata ante cualquier intrusión. Su grado de protección **IP65** lo hace resistente al polvo y la humedad, lo que permite su uso confiable en entornos industriales exigentes.



Ilustración 13 cortina de seguridad del sistema slitters

2.4 Línea de paro de emergencia por tracción de cable

La **línea de paro de emergencia por tracción de cable** se puede ver en la **ilustración 14** es un **sistema de seguridad mecánico-eléctrico** diseñado para detener de forma inmediata el funcionamiento de una máquina o línea de producción cuando se detecta una situación peligrosa. Este sistema se implementa comúnmente en equipos de gran longitud, como *slitters*, *transportadores*, o máquinas de conversión, donde el acceso a un botón de paro convencional puede resultar insuficiente o poco práctico.

El sistema consiste en un **cable de acero trenzado** que se instala a lo largo de la máquina, sostenido por una serie de **tensores, poleas y soportes** que lo mantienen alineado y con la tensión adecuada. En cada extremo del cable se conecta un **interruptor de tracción (pull cord switch)** o **interruptor de paro de emergencia tipo cable**, el cual está diseñado para activarse cuando el operador **jala o libera el cable** ante una emergencia.

Cuando el cable es traccionado desde cualquier punto de la línea, el interruptor detecta la variación de tensión y **abre el circuito de control**, enviando una señal eléctrica de **paro de emergencia (E-STOP)** al sistema de mando de la máquina. De forma inmediata, se **interrumpe la alimentación de energía** a los actuadores, motores o válvulas, deteniendo completamente el movimiento de la máquina. Algunos modelos también incorporan una **indicación visual o mecánica de disparo**, y requieren un **rearme manual** mediante un botón o palanca integrada, lo que garantiza que el sistema no se reactive de forma accidental.

Estos dispositivos están diseñados conforme a las normas internacionales de seguridad, como la **ISO 13850** (*Safety of Machinery – Emergency Stop Function – Principles for Design*) y la **IEC 60947-5-5**, que establecen los requisitos funcionales y de confiabilidad de los sistemas de paro de emergencia.

La línea de tracción ofrece una **cobertura de seguridad continua** a lo largo de toda la zona protegida, permitiendo al operador accionar el paro de emergencia **desde cualquier punto de la máquina**, lo que la convierte en una medida de protección **eficiente, rápida y accesible**.

En la **máquina de Coform 1**, este sistema se encuentra instalado a lo largo de la zona de corte y desenrollado de material, asegurando que cualquier operario pueda detener el proceso de manera inmediata ante una situación de riesgo, como un enredo, caída de material o presencia de personal en una zona peligrosa. El sistema de tracción se integra al circuito de seguridad general de la máquina, conectado al **módulo de control de seguridad** que gestiona las señales de paro, cortinas de luz y enclavamientos, garantizando una **detención segura y controlada** del proceso.



Ilustración 14 sistema de paro de emergencia por tracción del sistema de slitters

2.5 Rodillos

Dentro del sistema de corte longitudinal (*slitter*), el rodillo Fife cumple una función fundamental en el control y guiado del material antes de su ingreso a la zona de corte. En este caso, el sistema cuenta con un rodillo libre, el cual actúa como elemento de alineación pasivo que mantiene la banda de material estable y centrada durante su desplazamiento continuo por la línea. En la **ilustración 15** muestra un ejemplo de como funcionan los rodillos antes y después de pasar por los slitter

El rodillo libre se encuentra ubicado estratégicamente antes del conjunto de cuchillas de los slitters, funcionando como una guía estabilizadora que asegura que la banda entre de manera alineada y con la tensión adecuada al sistema de corte. De esta forma, se garantiza que el corte longitudinal se realice exactamente en la posición definida, evitando variaciones en el ancho de las tiras, cortes irregulares o acumulación desigual de los bordes recortados (*trim*).

Su diseño de bajo rozamiento y alta precisión permite que el material se desplace sin generar fricción excesiva ni deformación superficial, características especialmente importantes en el procesamiento de materiales no tejidos como el *coform*. Este tipo de rodillo está fabricado en acero o aluminio balanceado dinámicamente, con rodamientos de precisión que permiten un giro libre y estable incluso a altas velocidades de línea, lo que contribuye a mantener una trayectoria constante del material durante todo el proceso de corte en el sistema de *Coform*, este componente asegura la precisión en el corte y la estabilidad de la banda, además de contribuir a prolongar la vida útil de las cuchillas, ya que un material mal alineado genera esfuerzos desiguales sobre los filos de corte. el rodillo libre forma parte de los elementos que garantizan la eficiencia y calidad del proceso de corte longitudinal.



Ilustración 15 Ejemplo visual del funcionamiento de los rodillos en el proceso de fabricación. Imagen tomada de Cómo se hace el papel (Comercial Avilés, s. f.).

2.6 Sistema de Vacío para la Recolección de Trim

El **sistema de vacío para la recolección de trim** es un componente esencial en las líneas de corte longitudinal (*slitters*), cuya **función principal es retirar y transportar los recortes generados** por las cuchillas durante el proceso de corte del material. En el caso de las máquinas *Coform*, este sistema está diseñado para **mantener la zona de corte libre de residuos**, evitar obstrucciones y garantizar la calidad y limpieza del producto final.

Durante la operación, las cuchillas del sistema *slitter* realizan cortes longitudinales sobre la banda de material, separando el producto útil de los bordes sobrantes conocidos como **trim**. Estos recortes, al ser de material ligero (mezcla de celulosa y polímeros sintéticos), tienden a dispersarse fácilmente en el ambiente, riesgo de contaminación y posibles afectaciones en la calidad del producto. Para evitar esto, el sistema de vacío crea una corriente de aire controlada que succiona los recortes directamente desde el punto de corte como se aprecia en la **ilustración 16**, manteniendo el área limpia y segura.

El sistema está compuesto por boquillas de succión ubicadas inmediatamente después de las cuchillas, ductos de transporte, un separador ciclónico o filtro, y una unidad de vacío (ventilador centrífugo o soplador de alta capacidad). Las boquillas capturan el **trim** al momento en que se desprende, guiándolo a través de los ductos mediante un flujo de aire generado por el soplador. El material recolectado es posteriormente depositado en un contenedor o sistema de compactación, donde puede ser almacenado temporalmente o enviado a reciclaje.

En el sistema *Coform*, la eficiencia del vacío es fundamental para evitar que el **trim** se enrede en las cuchillas o se acumule alrededor del porta cuchillas, lo que podría causar desbalance o interferencia con el proceso de corte. Por ello, el flujo de aire se regula cuidadosamente mediante válvulas o compuertas, asegurando una succión constante sin afectar la trayectoria del material principal. La velocidad del aire y el diámetro de los ductos están diseñados para mantener un transporte neumático estable, evitando obstrucciones y minimizando el desgaste por abrasión en los conductos.



Ilustración 16 sistema de recolección en funcionamiento

2.7 PORTACUCHILLAS DE CORTE DF50-150

El **porta cuchillas superior DF50-150 de DIENES** se muestra en la **ilustración 17** es un dispositivo circular neumático de alta velocidad diseñado específicamente para el corte de papel de grosor ligero a medio y de una amplia gama de materiales no tejidos, tales como telas industriales, laminados y films delgados. Este modelo permite realizar cortes con anchos de hasta 50 mm (1.969 pulgadas) y operar con velocidades de banda que alcanzan los 1584 metros por minuto (5200 pies por minuto), posicionándose como un equipo de alta eficiencia y precisión para líneas de producción de conversión, rebobinado y corte longitudinal.

El DF50-150 ha sido diseñado con un **sistema de guía de doble eje sin holgura DIENES**, una tecnología patentada que proporciona máxima rigidez estructural y amortiguación de vibraciones. Este sistema consiste en un conjunto de guías lineales o ejes paralelos de alta precisión que aseguran que el porta cuchillas se desplace sin juego mecánico (“backlash”) durante el corte, manteniendo la perpendicularidad y estabilidad del filo. Esta característica es esencial para lograr cortes limpios, repetitivos y con mínima desviación, incluso a altas velocidades de rotación y desplazamiento. El diseño sin holgura elimina la microvibración que normalmente degrada la calidad del borde cortado y acelera el desgaste de la cuchilla, prolongando significativamente la vida útil de la hoja circular.

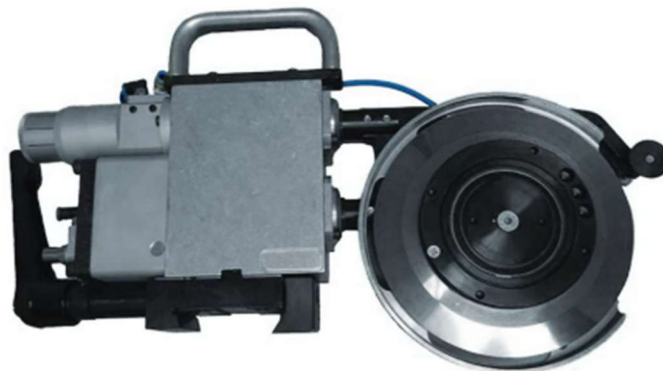


Ilustración 17 porta cuchillas DF50-150 . Tomado de Dienes USA (s. f.), DF-50-150 shear cut knife holder.

El porta cuchillas DF50-150 incorpora un **ajuste micrométrico de profundidad**, se muestra en **ilustración 18** que permite al operador calibrar con precisión la penetración de la cuchilla sobre el material. Este ajuste se realiza mediante un tornillo o mecanismo de precisión que desplaza la cuchilla axialmente con incrementos extremadamente finos, de modo que el filo de la cuchilla superior ejerza la presión exacta sobre el material y el cabezal inferior. Este control garantiza una calidad de corte óptima, evitando exceso de penetración que podría dañar el material o deformar el filo, al mismo tiempo que se previenen rebabas o cortes incompletos.

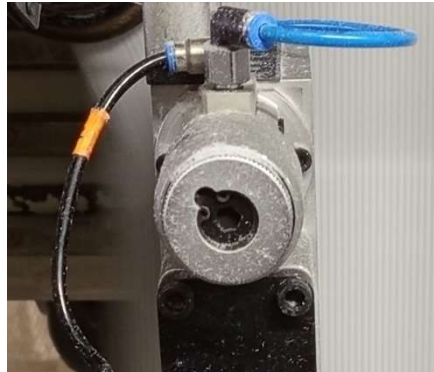


Ilustración 18 perilla de ajuste micrométrico de profundidad

Una característica destacada del DF50-150 es su **control de fuerza lateral ajustable neumáticamente**, que regula la presión de contacto entre el porta cuchillas superior y el cabezal inferior. En el sistema de corte tipo “tijera”, la cuchilla superior (activa) se acopla lateralmente a una cuchilla inferior fija o rotatoria que actúa como contra cuchilla. El filo superior corta el material apoyándose sobre el borde de la cuchilla inferior en un punto de contacto tangencial, similar al funcionamiento de unas tijeras. La presión debe ser firme y constante, pero sin exceso, para evitar desgaste o calentamiento. El control neumático aplica una presión uniforme mediante un cilindro interno, asegurando el contacto óptimo de las cuchillas.

El **aire comprimido**, suministrado desde una línea neumática controlada por válvulas y reguladores, acciona un pistón interno que empuja la cuchilla hacia la contra cuchilla. Ajustando la presión de aire, el operador puede modificar con precisión la fuerza de empuje. En la **ilustración 18** se puede apreciar los puertos de aire comprimido, Cuando se despresuriza, el pistón se retrae y separa la cuchilla, facilitando cambios rápidos, mantenimiento o sustitución sin desensamblar completamente el soporte. Este control neumático también permite la **operación automática sincronizada**, integrándose a un sistema central que activa o libera los porta cuchillas según el ancho de corte requerido, sin intervención manual directa.

El DF50-150 incluye además **características de diseño para comodidad y seguridad del operador**. Puede montarse mediante cola de milano o cojinetes lineales, adaptándose a diferentes rieles o barras portantes. Las placas de ángulo de inclinación de precisión aseguran que la cuchilla se mantenga en la posición óptima frente al cabezal inferior, garantizando un ángulo de corte constante. El conjunto se completa con un **protector de hoja de 360°** se observa en la **ilustración 17** , que resguarda completamente el filo cuando no está en contacto, evitando accidentes y daños durante la manipulación.

El **cabezal de cuchilla circular inferior de cambio rápido** permite reemplazar el filo o disco inferior sin herramientas complejas ni desajustes. Opcionalmente, el DF50-150 puede incorporar la pestaña **Easy-Set**, que facilita el ajuste de la distancia lateral entre porta cuchillas, acelerando el cambio de formato, y un **lubricador interno** que suministra una película ligera de aceite, reduciendo fricción, temperatura y desgaste.

La **hoja circular**, se muestra en la **ilustración 19** con un diámetro de 150 mm (5.906 pulgadas), está fabricada con aceros de alta calidad o materiales especiales, manteniendo un filo agudo durante periodos prolongados. Combinada con el cabezal inferior guiado por rodamientos de bolas de precisión, proporciona rotación suave, libre de vibraciones y mínima desviación radial, fundamental para cortes precisos y duraderos.



Ilustración 19 cuchilla circular de slitters

El **principio mecánico del sistema de corte tipo tijera** se basa en la interacción de la cuchilla superior (activa) y la inferior (pasiva o motriz). Durante el corte, ambas giran en sentido opuesto

en el punto de contacto, creando una zona tangencial donde el material se secciona por cizallamiento. Este método produce bordes limpios, menos rebabas y menor generación de calor, siendo superior al corte por aplastamiento o presión directa. La cuchilla superior se desplaza transversalmente a lo largo de la banda, mientras que la inferior permanece alineada con la línea de producción.

Gracias a su **estructura rígida, amortiguación de vibraciones y control neumático preciso**, el DF50-150 puede operar a velocidades de banda extremadamente altas (hasta 1584 m/min), manteniendo una presión de corte estable y alineación exacta entre cuchillas. Además, la parte neumática no solo controla la presión de contacto, sino que también permite subir o bajar el porta cuchillas, facilitando un control completamente automático, con integración de sensores y válvulas proporcionales según tipo de material, espesor o velocidad de línea.

Aunque este sistema ofrece **precisión y automatización**, con el tiempo se han identificado **limitaciones importantes** relacionadas con el **mantenimiento**, el **costo de reparación** y la **complejidad del sistema eléctrico**. Además, la exposición al polvo y la vibración del entorno industrial generan desgaste prematuro en los componentes electromecánicos, provocando tiempos muertos en la producción.

Por ello, el proyecto de conversión propone reemplazar el sistema de ajuste eléctrico por un **sistema de accionamiento neumático**, más simple, confiable y adecuado para las condiciones de trabajo en la línea de producción de *coform*. Este nuevo diseño busca conservar la precisión del posicionamiento, reducir los tiempos de ajuste y mejorar la disponibilidad operativa del *slitter*.

Capítulo III. Análisis de sistema de posición neumático de maquina 2

En **Kimberly-Clark** operan dos máquinas destinadas a la manufactura de *Coform*: la primera, denominada **“Máquina 1” o “Coform 1”**, fue instalada en el año 2008 e incluye toda la máquina, los equipos auxiliares y la infraestructura vinculada al proceso de conformación y manejo del material. La segunda, conocida como **“Máquina 2” o “Coform 2”**, fue inaugurada en 2017. Aunque el proceso de manufactura es esencialmente el mismo que en Coform 1, algunos de sus sistemas presentan diferencias en el diseño mecánico y de control, pero cumplen la misma función dentro del proceso productivo.

Uno de los sistemas que presenta estas diferencias es el **sistema de slitters o sistema de corte longitudinal**, el cual se encarga de ajustar el ancho del material Coform a las dimensiones requeridas por el proceso de conversión posterior. A diferencia de la Máquina 1, la Máquina 2 cuenta con un **sistema de ajuste manual**, en el cual el operador posiciona el porta cuchillas en la ubicación indicada según el ancho de corte deseado. Una vez alineado, la cuchilla es **bloqueada mediante un pistón neumático**, que fija la posición del porta cuchillas y garantiza que no haya desplazamiento durante la operación de corte, incluso a altas velocidades de línea.

El presente análisis se centrará en la **Máquina 2**, que servirá como base para la **actualización y adaptación de la Máquina 1**, dado que su sistema manual ha demostrado ser más confiable en el entorno operativo de manufactura de Coform. Este diseño minimiza los riesgos de atascos, reduce la complejidad del mantenimiento y ofrece una manipulación más directa por parte del operador, sin comprometer la precisión ni la seguridad.

El sistema de slitters de Coform 2 utiliza **porta cuchillas del proveedor Tidland Performance Series**. En este sistema, la **cuchilla circular superior** (montada en el porta cuchillas) actúa contra una **contra cuchilla o yunque**, ubicada en la parte inferior y montada sobre un **eje motorizado** que permite su desplazamiento horizontal. Este movimiento facilita el ajuste del ancho del rollo y el alineamiento exacto con la cuchilla superior, asegurando un corte limpio y uniforme del material.

El **porta cuchillas de la serie Tidland Performance** mostrado en la **Ilustración 20** es el componente encargado de alojar la **cuchilla circular activa**, la cual realiza el corte longitudinal del material *Coform* mediante un sistema de corte por cizalla (*shear cut*). Este dispositivo está diseñado para proporcionar una alta precisión de corte, facilidad de ajuste y seguridad durante la

operación, siendo ampliamente utilizado en líneas de conversión de papel, películas plásticas y materiales no tejidos.

El porta cuchillas se **desplaza lateralmente** gracias a un conjunto de **guías o rodamientos lineales** montados sobre **dos rieles paralelos**, ubicados a los extremos de la base del sistema. Estos rieles permiten un movimiento suave, controlado y sin juego, reduciendo la fricción y asegurando una alineación exacta con el **yunque o contra cuchilla**. Ambos rieles se encuentran **paralelos al rodillo porta yunque**, separados a una distancia aproximada de **50 mm** y con una **holgura mínima de 0.5 cm** respecto al yunque. En este espacio libre es donde el material *Coform* circula, siendo cortado con precisión entre la cuchilla activa y la contra cuchilla.



Ilustración 20 porta cuchillas de la serie Tidland Performance

Una base une al porta cuchilla, los dos rodamientos y el **pistón neumático de bloqueo**, ubicado entre las guías lineales. Este pistón cumple una doble función: primero, **asegura la posición** del porta cuchillas una vez que ha sido ajustado por el operador; y segundo, **actúa como freno mecánico**, impidiendo cualquier desplazamiento no deseado durante la operación del sistema. El bloqueo neumático es esencial para evitar vibraciones o variaciones de corte, especialmente a las altas velocidades de línea características del proceso de manufactura de *Coform*.

Asimismo, el porta cuchillas requiere un **suministro de aire comprimido** que alimenta el sistema neumático interno. Este aire permite **controlar la presión de contacto** entre la cuchilla activa y la contra cuchilla, ajustando el esfuerzo de corte según el tipo de material y su espesor. Un control inadecuado de esta presión puede causar desgaste prematuro de las cuchillas o dañar el material.

Por ello, el sistema cuenta con reguladores de presión y válvulas de control que mantienen un equilibrio óptimo entre fuerza de corte y durabilidad de los componentes.

En su parte frontal, el porta cuchillas Tidland Performance integra un **mecanismo de liberación rápida** (*quick-release system*) que facilita el reemplazo de cuchillas sin necesidad de herramientas especializadas, reduciendo los tiempos de mantenimiento y minimizando el riesgo de accidentes. Además, su cuerpo de aluminio anodizado o acero endurecido ofrece una estructura robusta y ligera que soporta las cargas dinámicas del proceso.

El sistema de alineación entre cuchilla y yunque está diseñado para mantener una **interferencia controlada** o “*overlap*” típica de 0.025 a 0.050 mm, lo que garantiza un corte limpio sin rebabas. Esta precisión se logra gracias al acoplamiento exacto del porta cuchillas con las guías lineales y a la estabilidad proporcionada por el pistón de bloqueo.

3.1 Rodillos (o “rodillo base para el porta yunque”)

El rodillo bajo el porta yunque de la **Ilustración 21** cumple la función de soporte y giro para el conjunto de la cuchilla inferior, permitiendo que el material cortado avance sin fricción excesiva y manteniendo la tensión adecuada de la banda. Mecánicamente, estos rodillos están montados sobre ejes que giran con rodamientos de bolas o rodillos cilíndricos, lo que reduce significativamente la resistencia al giro incluso a altas velocidades de línea. Al girar libremente, el rodillo transmite el movimiento del material y evita que se arrugue o desplace lateralmente durante el sistema de corte. Este soporte estabiliza la contra cuchilla y asegura que el sistema de corte tipo tijera (cuchilla superior activa sobre yunque inferior) opere con precisión y sin desplazamientos dinámicos no deseados.

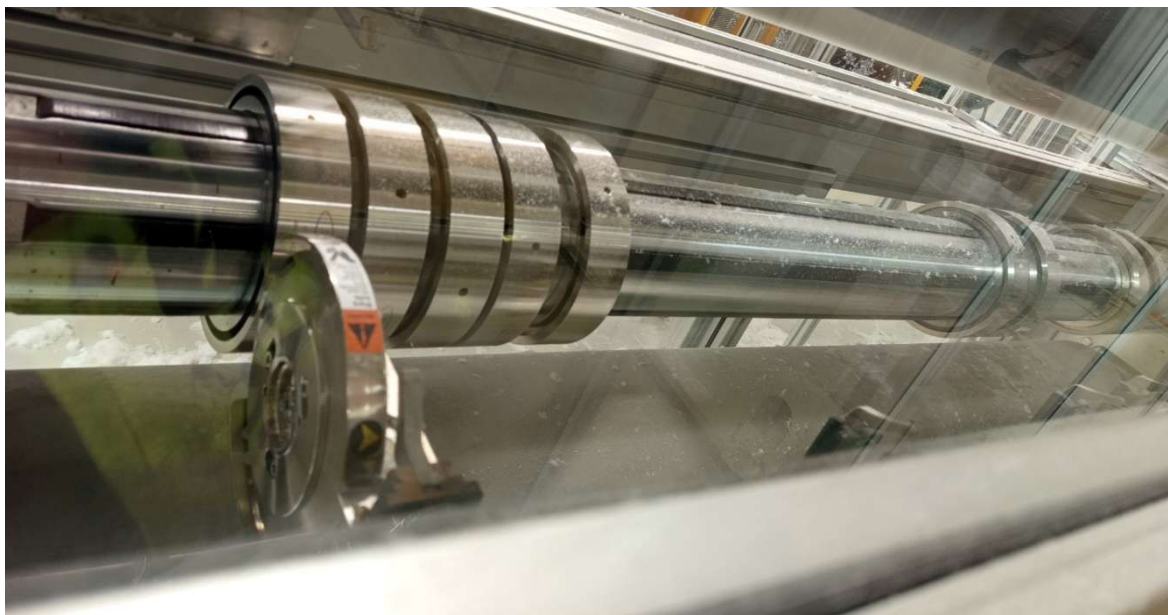


Ilustración 21 rodillo mandril que aloja los yunques de maquina 2

En el sistema de corte por cizalla de la Máquina 2, cada **yunque** o **contra cuchilla** se monta individualmente sobre el **rodillo base**, formando el elemento pasivo contra el cual actúa la cuchilla circular activa del porta cuchillas. Estos yunques son esenciales para garantizar un corte limpio, estable y preciso del material coform, ya que proporcionan la superficie de apoyo rígida necesaria para que la cuchilla activa ingrese ligeramente en el borde del yunque y genere el efecto de cizallamiento.

Cada yunque se instala de forma **modular e independiente**, permitiendo que el operador configure el ancho de corte requerido según el formato de producción. El proceso de montaje y desmontaje se realiza a través de una **escotilla ubicada en el extremo de la estructura del rodillo**, la cual se retira únicamente cuando la máquina se encuentra en una condición segura. Esta escotilla permite extraer o introducir los porta-yunques uno por uno, facilitando las tareas de cambio de formato, mantenimiento o sustitución por desgaste.

Una vez que un yunque es colocado en la posición deseada sobre el rodillo base, se fija mediante un **opresor mecánico**, un elemento que aplica presión radial entre el rodillo y el cuerpo del yunque. La función del opresor es inmovilizar completamente el yunque, evitando cualquier tipo de desplazamiento axial o rotacional durante la operación de corte. Este mecanismo opera tradicionalmente mediante un tornillo, cuña o sistema de apriete que genera una fuerza de sujeción uniforme alrededor del rodillo, asegurando una estabilidad dimensional crítica para mantener la calidad del corte.

3.2 Riel y Rodamientos Lineales

El riel y los rodamientos lineales se pueden observar en la **imagen 22** constituyen el sistema de guía del porta cuchillas, permitiendo que este se desplace lateralmente (horizontalmente) con alta precisión cuando se ajusta el ancho de rollo a cortar. Mecánicamente, los rodamientos lineales funcionan permitiendo el movimiento sobre un eje recto gracias a la circulación de bolas o rodillos que minimizan la fricción entre el carro móvil y el riel fijo representado en la **imagen 23**. Así se logra que los movimientos manuales del porta cuchillas sean suaves, repetibles y sin holgura (“back lash”). Este sistema de guía es fundamental para que el posicionamiento del porta cuchillas sea confiable, porque cualquier desalineación o juego puede traducirse en cortes imprecisos o desgaste prematuro de la cuchilla.



Ilustración 22 rodamiento lineal del porta slitters

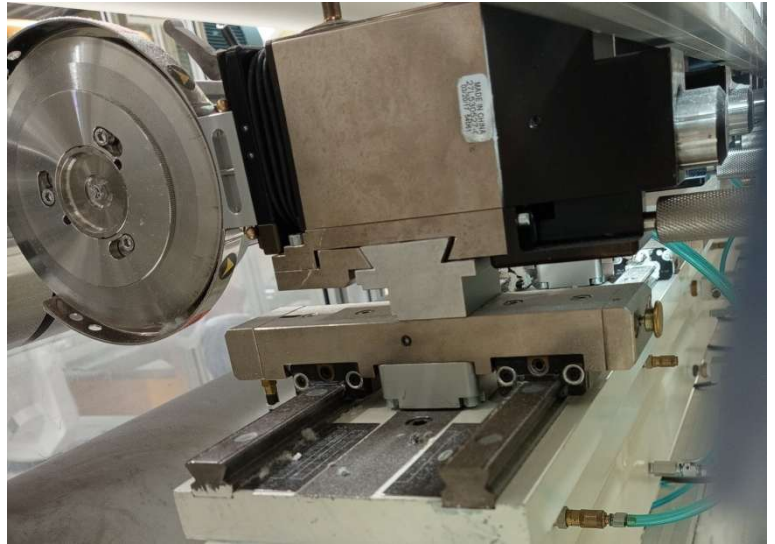


Ilustración 23 porta cuchillas montado sobre la base y los rieles de desplazamiento

3.3 Rodillos (Sistema de Guiado de Banda)

Una vez que el coform es creado en la malla de formación, el material pasa por una variedad de rodillos que guían su trayectoria a lo largo de la máquina. A esta banda en proceso también se le denomina *guía*. La función principal de estos rodillos es extender, estabilizar y conducir la guía para asegurar que llegue al área de enrollado en condiciones óptimas. En términos generales, los rodillos permiten mantener la tensión adecuada, evitar arrugas, controlar la dirección del material y garantizar que la banda se mantenga alineada durante todo el recorrido. En la **Ilustración 24** se puede observar la trayectoria por la cual se desplaza la guía.

Dentro de este conjunto se encuentran los **rodillos**, que forman parte del sistema de guiado lateral de banda. Estos rodillos están ubicados antes de la zona de corte y su objetivo es mantener la banda centrada respecto al ancho establecido. El sistema detecta continuamente la posición del borde del material mediante un sensor óptico o ultrasónico. Cuando la banda se desplaza hacia algún lado, el sensor envía una señal al controlador, que a su vez ordena a un actuador neumático o eléctrico realizar un ajuste. Este ajuste consiste en mover el rodillo guía o el marco donde está montado, corrigiendo la trayectoria de la guía. Gracias a este principio de control retroalimentado, los rodillos Fife mantienen el material dentro de tolerancia y evitan que entre

desalineado al sistema de cuchillas, mejorando así la calidad del corte y reduciendo el desperdicio de material.

Otro elemento importante es el **rodillo base**, cuya función principal es modificar la altura y el ángulo de la banda para permitir que el material llegue correctamente al sistema de enrollado. Sin embargo, este rodillo también se aprovecha para generar un corte limpio del *trim* (material sobrante) y asegurar que el rollo final sea lo más recto y uniforme posible. El rodillo base actúa sobre el plano de la guía y permite tensar, levantar o inclinar ligeramente la banda, lo cual facilita su correcta alineación con las cuchillas de borde y mejora la calidad del producto final.

En conjunto, todos estos rodillos trabajan como un sistema integral de guiado, alineación y acondicionamiento del coform, asegurando que el material avance de forma estable, sin desviaciones laterales y con la tensión adecuada para un corte y enrollado precisos.

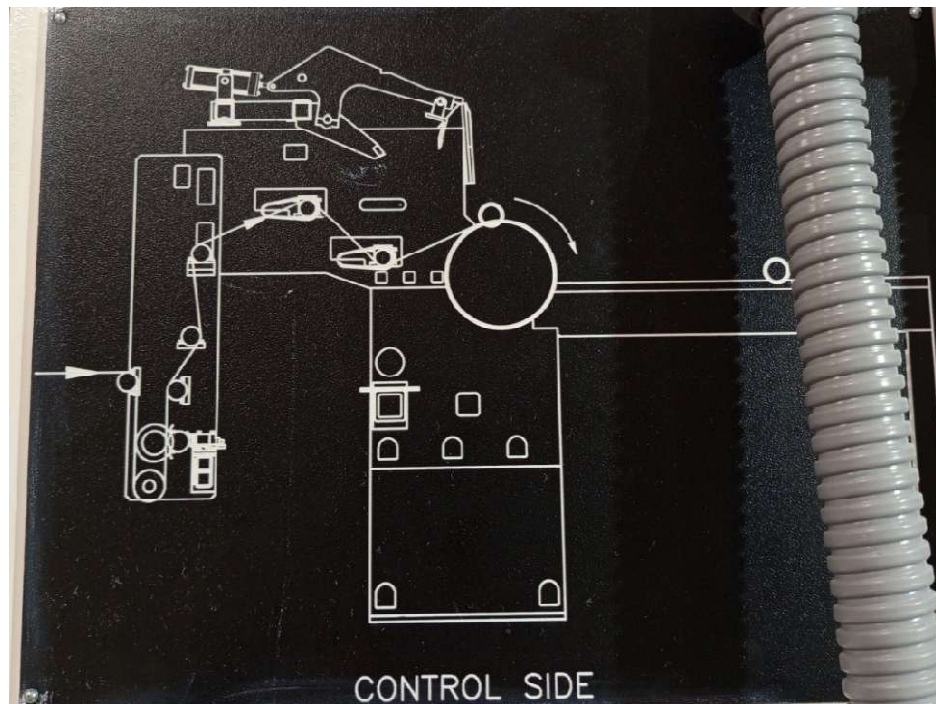


Ilustración 24 dibujo técnico que representa la trayectoria de la guía

3.4 cilindro de Bloqueo

El **cilindro de bloqueo** es un actuador neumático que asegura la fijación del porta cuchillas en la posición deseada como en la **ilustración 25** una vez que el operador o el sistema han ajustado el ancho de corte. Mecánicamente, el pistón trabaja aplicando fuerza para mantener la masa del porta cuchillas inmóvil, evitando vibraciones o desplazamientos durante el corte. Su uso es crítico cuando el ajuste es manual, tras mover el porta cuchillas, el operador acciona el pistón, que bloquea la posición mediante presión sobre superficies de contacto o mecanismos de fricción. Esto garantiza que, durante el funcionamiento de alta velocidad del slitter, el porta cuchillas mantenga la ubicación exacta sin desplazarse por inercias, asegurando la precisión del corte.

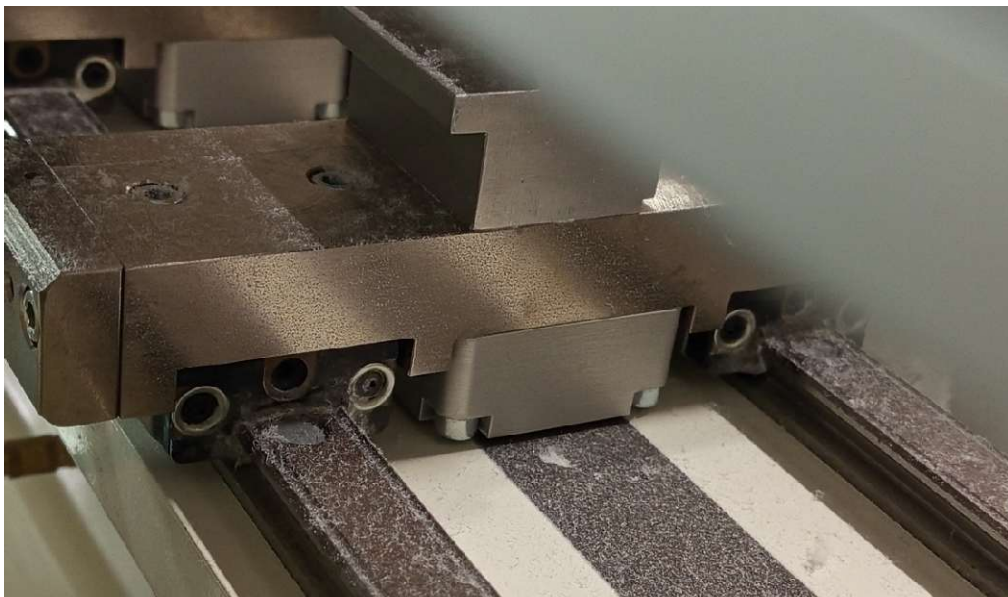


Ilustración 25 base del porta cuchillas de maquina 2

3.5 Sistema de Vacío para la Recolección de Trim

El sistema de vacío para la recolección de *trim* sirve para aspirar y transportar los recortes (bordes sobrantes) generados por las cuchillas durante el corte longitudinal. En la **ilustración 26** se muestra el sistema de recolección durante un paro rutinario. El mecanismo opera mediante 2 boquillas de succión ubicadas inmediatamente después del corte, ductos de transporte de flujo de aire, un separador o filtro y un ventilador centrífugo que genera la diferencia de presión para mover el recorte. Al extraer el *trim* al instante, se evita su acumulación en la zona de corte, disminuyendo la posibilidad de atascos, mejorando la limpieza del área y reduciendo la generación de polvo. Este sistema complementa al equipamiento mecánico y contribuye a mantener la eficiencia del proceso y la seguridad del entorno.



Ilustración 26 la imagen muestra dos conductos de vacío que recolectan el recorte

3.6 Sistema de seguridad

diferencia de la Máquina 1, que emplea sistemas de seguridad basados en tecnologías digitales tales como la cortina de luz y el paro de emergencia por cable, la Máquina 2 utiliza un enfoque distinto basado en **guardas removibles tipo ventana** se pueden observar en la **ilustración 27**. Estas guardas funcionan como barreras físicas que aíslan al operador de los elementos peligrosos del proceso, como las navajas circulares, rodillos en movimiento y ejes motorizados. Para poder retirarlas, es obligatorio desactivar el sistema desde el punto de control mediante un procedimiento seguro que garantiza la detención total de la máquina. Solo bajo estas condiciones se permite acceder al área para realizar actividades como el cambio de navajas, el ajuste del porta cuchillas o trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo.



Ilustración 27 en la imagen se observan las guardas que impiden el acceso a los slitters, de maquina 2

El componente encargado de supervisar este acceso seguro es un **interruptor de seguridad con enclavamiento**, visible en la estructura de las guardas visibles en la ilustración 28. Este dispositivo se emplea ampliamente en maquinaria industrial donde existen riesgos de corte, atrapamiento o impacto, como es el caso de *slitter*, cortadoras rotativas, unidades de conformado y procesos continuos de manufactura. Su función principal es **asegurar que las puertas o resguardos permanezcan cerrados durante el funcionamiento de la máquina**, evitando así el acceso a zonas peligrosas mientras los elementos internos están en movimiento o almacenan energía residual.

El sistema opera mediante un mecanismo electromecánico que integra un **sensor de posición** y un **bloqueo mecánico accionado por solenoide**, cumpliendo con altos niveles de integridad de seguridad conforme a las normas **ISO 14119** (interbloqueo por resguardos) e **ISO 13849-1** (partes relacionadas con la seguridad de los sistemas de control).



Ilustración 28 dispositivo schmersal sobre una guarda

El funcionamiento comienza cuando la guarda se cierra correctamente y el **actuador**, fijado a la estructura móvil, se acopla al interruptor. Al insertarse en el dispositivo, activa un conjunto interno de **microcontactos redundantes de seguridad** y un mecanismo de levas, el cual detecta la posición exacta del actuador y comunica al módulo de seguridad que la protección está colocada de forma correcta. Una vez verificada esta condición, el **solenoide interno activa un**

pestillo mecánico que bloquea el actuador dentro del dispositivo y evita la apertura de la guarda mientras la máquina se encuentre en operación o presente movimiento peligroso. Este sistema impide que las protecciones puedan abrirse accidentalmente o de manera intencional durante el funcionamiento del equipo.

Cuando se genera un paro seguro —ya sea por accionamiento de emergencia, final del ciclo, parada controlada o ausencia de movimiento—, el sistema libera el enclavamiento. En ese momento, el solenoide desactiva el pestillo interno permitiendo que el operador abra la guarda sin riesgo. Por el contrario, si se detecta la apertura de la protección antes de que la máquina esté completamente detenida, los contactos redundantes del interruptor se abren de inmediato, enviando una señal de interrupción al sistema de control y provocando **el paro inmediato de toda la operación peligrosa**. Este comportamiento garantiza que el acceso a elementos críticos como las cuchillas, rodillos motorizados o ejes que aún giran por inercia quede totalmente restringido hasta que el estado de la máquina sea seguro.

Este principio de enclavamiento es fundamental en la operación de la Máquina 2, ya que compensa la ausencia de sistemas de detección dinámica como las cortinas de luz presentes en la Máquina 1. Además, asegura que cualquier intervención técnica o ajuste en el sistema de slitters se realice bajo condiciones completamente seguras, minimizando el riesgo de atrapamientos, cortes o contactos accidentales con partes móviles de alta energía.

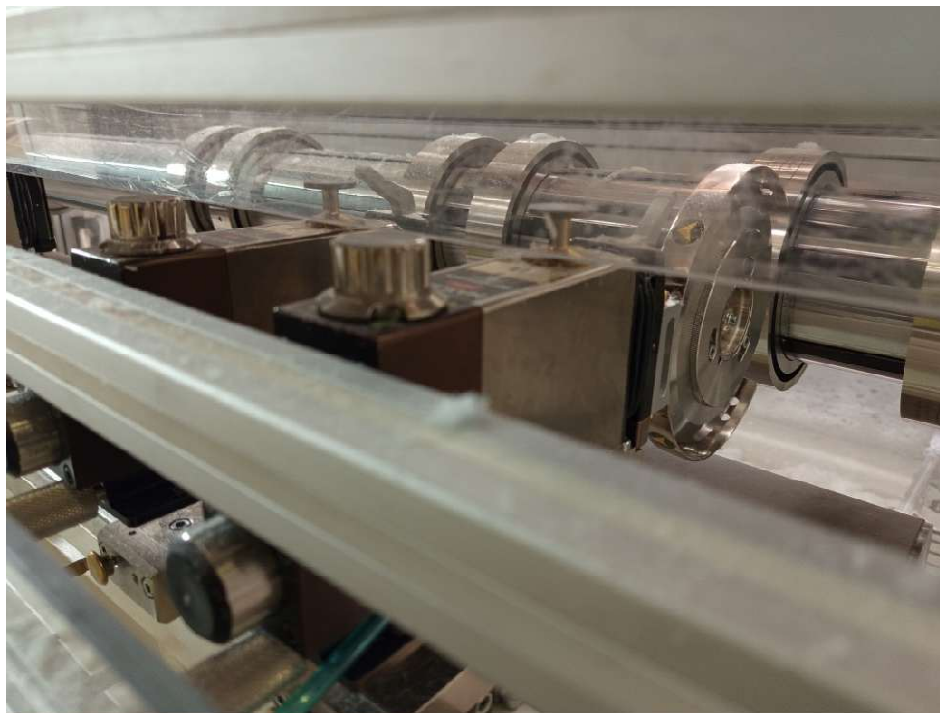


Ilustración 29 se muestra como interactúan yunque y porta cuchillas de maquina 2

CAPITULO IV. ADAPTACIÓN DEL SISTEMA NEUMÁTICO

Como se explicó en capítulos anteriores, el desplazamiento de los porta cuchillas tanto en la Máquina 1 como en la Máquina 2 es muy similar. En ambos casos, los porta cuchillas se montan sobre un par de rieles equipados con rodamientos lineales, lo que permite un movimiento estable, suave y preciso. Aunque los porta cuchillas provienen de fabricantes distintos, la mecánica principal —la guía lineal, la inclinación del porta cuchillas y la interacción cuchilla—yunque— es prácticamente la misma. La diferencia esencial entre ambos sistemas radica en el método mediante el cual se reposicionan los porta cuchillas y en el mecanismo utilizado para bloquearlos.

En la Máquina 1, este desplazamiento es realizado automáticamente mediante motores a pasos que cumplen una doble función: actuar como actuador lineal para mover el porta cuchillas y como mecanismo de bloqueo gracias al torque estático que el motor mantiene cuando está energizado. En cambio, la Máquina 2 utiliza un desplazamiento completamente manual, realizado por el operador, y para el bloqueo emplea un pistón neumático que presiona el porta cuchillas contra los rieles para inmovilizar su posición.

La similitud entre la estructura y el funcionamiento mecánico de ambos sistemas fue el motivo principal para considerar viable la adaptación. Debido a que ambos porta cuchillas se montan y deslizan prácticamente en la misma configuración estructural, es posible implementar la actualización en la Máquina 1 realizando modificaciones mínimas, evitando reconstruir soportes, bases o nuevos componentes mecánicos.

4.1 análisis

Durante el análisis estructural se observó que, tanto en la Máquina 1 como en la Máquina 2, los actuadores principales —el motor a pasos (M1) y el cilindro neumático de bloqueo (M2)— se encuentran ubicados justo por debajo de la base del porta cuchillas, en el mismo punto donde la base se conecta con los rodamientos lineales que descansan sobre el riel. Esto significa que la función del actuador, ya sea eléctrico o neumático, se ejecuta desde exactamente el mismo punto de aplicación de fuerza.

Con esta información, se determinó que la solución más eficiente era **reemplazar el motor a pasos de la Máquina 1 por un cilindro neumático** que pueda instalarse en el mismo espacio disponible bajo la base del porta cuchillas. Este espacio, **ilustración 30** medido entre la base del porta cuchillas y la estructura fija de la máquina donde se sujetan los rieles, es de **6 cm** y una base de **4.7 cm**. El cilindro debe seleccionarse considerando dos elementos fundamentales:

1. **Dimensiones físicas del cuerpo del cilindro**, que deben permitir que el actuador quepa íntegramente dentro del espacio disponible sin interferir con la estructura ni con otros componentes.
2. **Carrera del émbolo**, la cual debe ser suficiente para ejercer la presión necesaria para bloquear el porta cuchillas, resistiendo el movimiento generado por la banda de coform durante el proceso de corte.



Ilustración 30 en la imagen se muestra el espacio desde la base del porta cuchillas a la estructura



Ilustración 31 base del porta cuchillas de maquina 1, tomada del anaquel de refacciones

Afortunadamente, debido a la similitud dimensional entre el motor a pasos original y los cilindros neumáticos disponibles para este tipo de aplicaciones, la adaptación puede realizarse sin necesidad de fabricar una base nueva. La base actual del porta cuchillas puede reutilizarse, realizando únicamente ajustes menores como perforaciones, guías adicionales o soportes de fijación específicos para el cilindro.

Esta compatibilidad estructural representa una ventaja significativa, ya que permite que la modificación del sistema sea rápida, económica y con un tiempo mínimo de implementación. Además, al mantener la mayor parte de la estructura original, se garantiza que el comportamiento mecánico del porta cuchillas —alineación, estabilidad y precisión— permanezca prácticamente igual, conservando la calidad del corte mientras se elimina el problema de atascamiento generado por el sistema eléctrico

4.2 Cilindro neumático

Se necesita un cilindro neumático de doble efecto, de tamaño compacto, pero con el diámetro suficiente para generar la fuerza necesaria para bloquear el movimiento del porta cuchillas. Si un porta cuchillas pesa aproximadamente 10 kg, el pistón debe ser capaz no solo de soportar este peso, en cuanto al coform al mantenerse alineado con la cuchilla no genera fuerzas horizontal, solo fuerzas verticales

Cuando la máquina está en operación, la guía ejerce una fuerza lateral constante sobre los porta cuchillas debido al contacto entre la navaja y el material, la velocidad de avance y las vibraciones

del sistema. Esta fuerza se transmite a la base del porta cuchillas y, por lo tanto, debe ser contenida por el mecanismo de bloqueo.

El cilindro seleccionado debe generar una fuerza suficiente para mantener el porta cuchillas completamente inmovilizado, evitando que se desplace durante el corte. Para lograrlo, se debe considerar la presión de operación del sistema neumático, el diámetro interno del cilindro y la carrera requerida para permitir la liberación y el bloqueo. Un cilindro muy pequeño no tendría suficiente fuerza, mientras que uno demasiado grande no cabría en el espacio disponible bajo la base del porta cuchillas.

Por este motivo, la selección del cilindro se basa en un equilibrio entre dimensiones físicas, fuerza generada y presión disponible en la línea neumática, garantizando que pueda soportar el peso del porta cuchillas, la fuerza del proceso y cualquier vibración o carga dinámica generada durante la operación.

4.3 Control del cilindro

Un cilindro neumático requiere un sistema de control que permita activar y desactivar su movimiento; de lo contrario, el émbolo permanecería siempre extendido aplicando la fuerza de bloqueo, lo que impediría desplazar el porta cuchillas. Aunque podría pensarse en “cortar el suministro de aire” para liberar el movimiento, esto no es práctico ni seguro para la operación. Por ello, es indispensable integrar un dispositivo de control —ya sea una válvula manual tipo palanca, una electroválvula o una botonera neumática— que permita habilitar o deshabilitar la acción del pistón de forma inmediata.

Este dispositivo debe estar ubicado al alcance directo del operador, de modo que pueda bloquear el porta cuchillas inmediatamente después de colocarlo en la posición deseada. Considerando el espacio reducido disponible en el área de ajuste y siguiendo el diseño ya probado en la Máquina 2, se instalará una botonera independiente para cada porta cuchillas.

El principio de operación será el siguiente:

- **Al presionar el botón** , el émbolo del cilindro se contrae, liberando el porta cuchillas y permitiendo su desplazamiento manual sobre los rieles.
- **Al soltar el botón**, el pistón regresa automáticamente a su posición extendida, aplicando nuevamente la fuerza de bloqueo y asegurando la posición del porta cuchillas durante el corte.

Este sistema permite al operador realizar ajustes rápidos, seguros y precisos, garantizando que cada porta cuchillas quede firmemente bloqueado antes de iniciar el proceso de corte. Además,

la implementación es viable debido a que el espacio disponible y la configuración mecánica son compatibles con el montaje del cilindro y de su respectivo control, sin necesidad de realizar modificaciones mayores en la estructura original de la Máquina 1.

4.4 alimentación y distribución de aire comprimido

Ya que los porta cuchillas operan mediante aire comprimido, existe una línea de suministro cercana que puede aprovecharse para el nuevo sistema. Únicamente será necesario realizar una ramificación desde esa línea principal hacia un distribuidor o **múltiple neumático**, ya que se requerirá disponer de varias tomas de aire independientes para alimentar cada cilindro y su respectiva botonera.

Para esto se emplearán materiales como mangueras neumáticas y conexiones rápidas; sin embargo, también será necesario integrar otros componentes para garantizar un funcionamiento seguro, estable y confiable del sistema. Entre los elementos adicionales que deben incorporarse se incluyen:

Válvula reguladora de presión con manómetro

Este componente permite ajustar y mantener constante la presión de trabajo que llega a los cilindros neumáticos. Su función es fundamental, ya que evita que presiones excesivas puedan dañar los porta cuchillas, las guías lineales o los propios cilindros. El manómetro integrado permite al operador verificar visualmente que la presión está dentro del rango adecuado antes de realizar cualquier ajuste en los porta cuchillas. Además, estabiliza el funcionamiento del sistema al evitar variaciones bruscas provenientes de la línea principal de aire.

• Múltiple (distribuidor) de aire:

Es un bloque con varias salidas que permite dividir la alimentación de aire comprimido hacia cada uno de los porta cuchillas. Su uso evita conexiones improvisadas y garantiza una distribución organizada y equilibrada del suministro. Dependiendo del número de porta cuchillas, se selecciona un múltiple con la cantidad adecuada de puertos. Además, permite futuras expansiones o mantenimiento más sencillo al poder aislar o desconectar líneas individuales si es necesario.

• Racores rectos, en T y acodados:

Estos conectores permiten interconectar las mangueras con los cilindros, las válvulas y el múltiple. Los racores rectos son utilizados para conexiones directas, los de tipo "T" para dividir líneas o alimentar dos componentes desde una misma entrada, y los acodados cuando el espacio físico es reducido o se requiere cambiar el ángulo de conexión. La selección adecuada de estos elementos

garantiza que el sistema quede compacto y sin tensiones en las mangueras, reduciendo riesgos de fugas o fallas.

- **Abrazaderas y cinchos de plástico**

Su función es mantener las mangueras en su lugar, evitando que cuelguen, se doblen o golpeen contra partes móviles de la máquina. Esto no solo mejora la seguridad del operador, sino que también evita desgaste por fricción, rupturas o desconexiones accidentales. Mantener un ruteo ordenado de las mangueras es clave para asegurar un funcionamiento continuo y facilitar el mantenimiento.

- **Silenciadores neumáticos:**

Estos dispositivos se instalan en las válvulas 3/2 en los puntos donde se libera aire a la atmósfera. Su función es reducir el ruido generado durante las maniobras de activación y desactivación de los cilindros, lo cual mejora el ambiente de trabajo y protege la audición del operador. Además, filtran el aire expulsado para evitar que partículas o residuos salgan disparados durante la operación. Algunos modelos también ayudan a controlar parcialmente la velocidad del escape de aire.

Estos elementos serán necesarios para suministrar la **presión adecuada** a cada uno de los componentes del nuevo sistema en la parte de **alimentación neumática**, garantizando un funcionamiento estable, seguro y continuo. Cada dispositivo cumple una función específica dentro del acondicionamiento, distribución y control del aire comprimido, permitiendo que los cilindros de bloqueo operen correctamente sin afectar la integridad mecánica de los porta cuchillas ni la estructura del slitter. De esta manera, el sistema neumático podrá realizar los ciclos de liberación y bloqueo con la presión uniforme que requieren los porta cuchillas para mantener su posición durante el proceso de corte.

CAPITULO V. SELECCIÓN DE ACTUADORES PARA SISTEMA DE POSICIONAMIENTO

En este capítulo se realizó la **identificación, análisis y selección de los componentes necesarios** para la actualización del sistema de posicionamiento de los *slitters*, con el objetivo de integrar una solución más adecuada a las condiciones reales de operación del proceso. La selección de los componentes se llevó a cabo considerando criterios técnicos, operativos y de compatibilidad con la infraestructura existente, priorizando la confiabilidad del sistema, la facilidad de mantenimiento y la reducción de fallas asociadas al accionamiento original.

El proceso de búsqueda y elección de los componentes se fundamentó en el análisis del funcionamiento actual del equipo, el historial de paros de máquina y las limitaciones detectadas en el sistema previo. A partir de esta evaluación, se determinaron los requerimientos mínimos de desempeño mecánico, neumático y de control que debían cumplir los nuevos elementos para asegurar una integración eficiente con los *slitters* y garantizar un funcionamiento estable durante la operación continua.

Asimismo, se consideraron aspectos como la disponibilidad comercial de los componentes, el soporte técnico del fabricante y la experiencia previa en aplicaciones industriales similares, con el fin de asegurar la viabilidad de implementación y la sostenibilidad del sistema a largo plazo. De esta manera, la selección de los componentes no solo responde a necesidades técnicas inmediatas, sino que también contribuye a mejorar la confiabilidad operativa y la seguridad del proceso de corte.

5.1 Cilindro neumático

Para el presente proyecto se optó por utilizar **cilindros neumáticos de la marca Festo**, con el objetivo de mantener la **normalización y compatibilidad** con los demás equipos y materiales instalados en el sistema, los cuales pertenecen a la misma marca. Esta estandarización facilita el mantenimiento, la disponibilidad de refacciones y la integración del sistema neumático.

Considerando las **restricciones geométricas del slitter**, se determinó que la distancia disponible entre la base del slitter y la estructura es de **13 cm**, mientras que el **ancho de la base del slitter es de 5 cm**. Con base en estas dimensiones, y tras la revisión del catálogo técnico del fabricante, se seleccionó el cilindro **Festo modelo ADNGF-32-5-P-A** se muestra en la **ilustración 32**, el cual cumple con los requerimientos dimensionales necesarios para su correcta instalación dentro del espacio disponible como puede corroborarse en la **tabla 3**

El **cilindro compacto guiado de doble efecto Festo**, referencia **ADNGF-32-5-P-A**, número de pieza **554238**, incorpora un sistema de **guía por varillas y placa de yugo**, lo que evita la rotación del vástago durante su operación. Esta característica proporciona una **mayor capacidad para soportar cargas laterales y esfuerzos torsionales**, en comparación con un cilindro neumático de émbolo simple, lo cual resulta adecuado para aplicaciones como el posicionamiento y accionamiento del sistema de cuchillas del slitter.

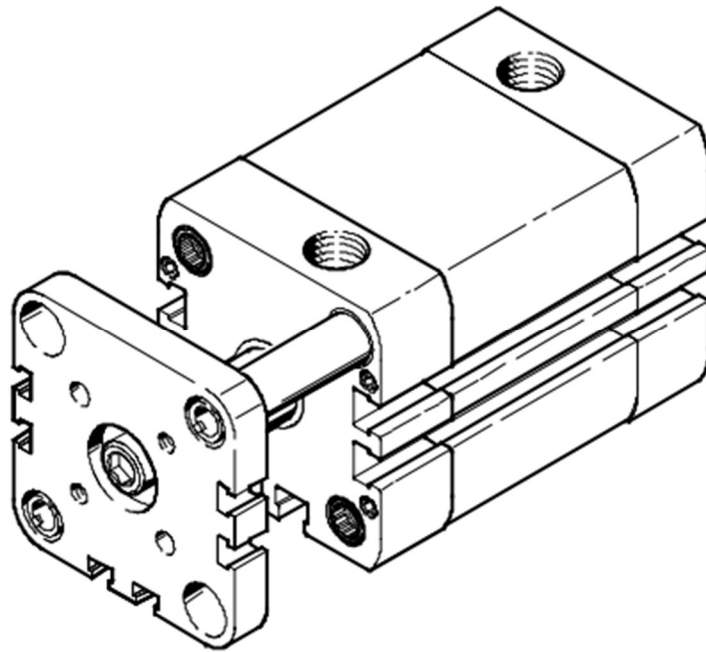


Ilustración 32 dibujo del cilindro modelo ADNGF-32-5-P-A,

5.1.1 Especificaciones técnicas principales

• Diámetro del émbolo (bore): 32 mm.
• Carrera (stroke): 5 mm (modelo con stroke 5 mm).
• Modo de operación: Doble efecto.
• Conexión neumática / puerto: G1/8 (según variante estándar para diámetros >25 mm en la serie ADNGF). Verificar la designación final en el pedido/hoja de datos local.
• Rango de presión de trabajo: 0.1 MPa ... 1.0 MPa (1 ... 10 bar).
• Medio de servicio: Aire comprimido limpio conforme a ISO 8573-1 (recomendado 7:4:4 o mejor, ver hoja técnica).
• Amortiguación: Anillos/placas de amortiguación elásticos en ambos extremos (autoajustables según versión P).
• Posicionamiento / detección: Preparado para detección por interruptores de proximidad (imán en émbolo para sensores).

• Protección contra rotación: Vástago asegurado frente a giro mediante varilla guía y placa de yugo.
• Temperatura de servicio típica: aproximadamente -20 °C a +80 °C (confirmar según hoja de datos de la versión).
• Norma de referencia: ISO 21287 (patrón de taladros normalizado).
• Dimensiones : 47 mm x 50 mm
• Conexión neumática: G1/8

Tabla 3 datos técnicos de cilindro neumático modelo ADNGF-32-5-P-A, modificado de (Festo AG & Co. KG, s. f.).

5.1.2 Cálculo de la fuerza teórica del pistón neumático

La **fuerza teórica** que genera un pistón neumático se calcula mediante la expresión:

$$F = P \cdot A$$

donde:

- F es la fuerza ejercida por el pistón (N),
- P es la presión efectiva de trabajo (Pa),
- A es el área del émbolo (m^2). tomado de la **tabla 3**

El área del émbolo se determina mediante la fórmula: $A = \frac{\pi d^2}{4}$

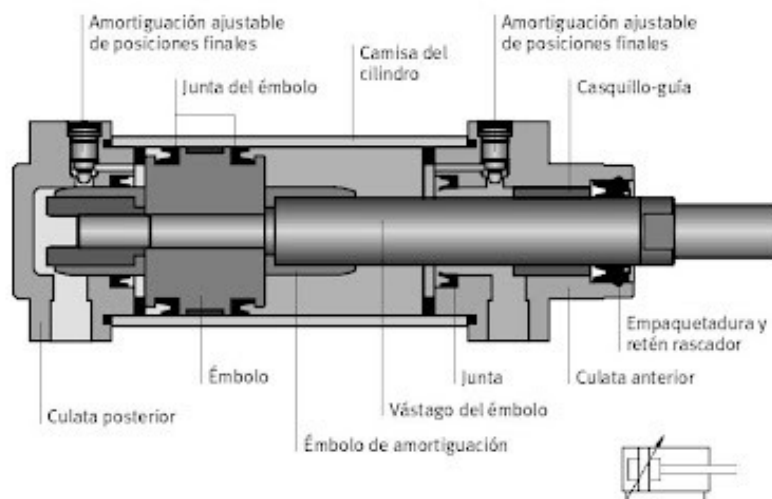


Ilustración 33 Partes principales de un pistón neumático de doble efecto. Fuente: Joucomatic

5.1.3 Cálculo del área del émbolo

Para un cilindro con **diámetro nominal (bore) de 32 mm**:

$$d = 32 \text{ mm} = 0.032 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi(0.032)^2}{4} = 0.00080425 \text{ m}^2$$

5.1.4 Conversión de la presión de trabajo

La presión de alimentación del sistema es de **59.51 psi**. Para mantener coherencia con el Sistema Internacional de Unidades, se convierte a pascales:

$$1 \text{ psi} = 6894.76 \text{ Pa}$$

$$59.51 \text{ psi} \times 6894.76 = 410,000 \text{ Pa (aprox.)}$$

5.1.5 Cálculo de la fuerza teórica

Sustituyendo los valores en la ecuación principal:

$$F = 410,000 \times 0.000804$$

$$F \approx 330 \text{ N}$$

5.1.6 Conversión de Newtons a kilogramos-fuerza

Para una interpretación más práctica, la fuerza se convierte a **kilogramos-fuerza (kgf)**. Esta unidad se define a partir del peso de una masa de 1 kg bajo gravedad estándar:

$$1 \text{ kgf} = 9.80665 \text{ N}$$

La conversión se realiza mediante:

$$\text{kgf} = \frac{N}{9.80665}$$

Aplicando al valor obtenido:

$$\text{kgf} = \frac{330}{9.80665} \approx 33.6 \text{ kgf}$$

La fuerza de bloqueo aproximada de **33.6 kgf** generada por el cilindro neumático es **suficiente para evitar cualquier desplazamiento no deseado del porta-slitter durante la operación**. Asimismo, esta fuerza supera ampliamente la requerida para el movimiento del mecanismo, siendo incluso mayor que la capacidad estructural de la guía, lo que garantiza un **posicionamiento firme, estable y seguro** del sistema durante el proceso de corte.

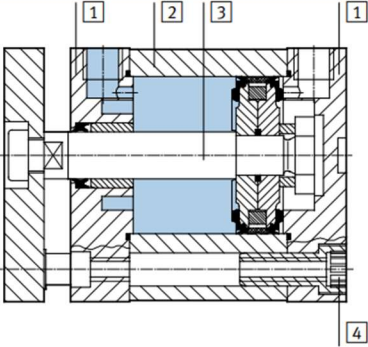
Precisión y control Al ser un cilindro **guiado**, proporciona resistencia a pares y cargas laterales mayores que un cilindro no guiado, lo que mejora la rigidez del sistema de bloqueo en aplicaciones con fuerza lateral (como el porta cuchillas).

Materiales y protección Barril de perfil y vástago tratados para resistencia; juntas de estanqueidad y materiales acostumbrados en Festo para cilindros industriales (consulta la ficha para composición exacta). La serie ADNGF suele ofrecer versiones con recubrimientos o materiales adecuados para ambientes industriales.

Ficha técnica general

Materiales

Vista en sección



Cilindro compacto		Tipo básico	S6
1	Culata	Aluminio anodizado	
2	Camisa del cilindro	Aluminio anodizado	
3	Vástago	Acero de aleación fina	
4	Tornillos con hexágono y rosca interior	Ø 12 ... 16	Acero de aleación fina
		Ø 20 ... 63	Acero cincado
		Ø 80 ... 100	Tornillos normalizados de acero galvanizado
–	Juntas	Poliuretano	Caucho fluorado

Ilustración 34 dibujo técnico y tabla de datos de cilindro **modelo ADNGF-32-5-P-A** (Festo AG & Co. KG, s. f.).

Codificación de cilindros Festo

Referencia												
		ADNGF	–	50	–	25	–	P	–	A	–	S6
Tipo												
Doble efecto												
ADNGF	Cilindro compacto											
Diámetro del émbolo [mm]												
Carrera [mm]												
Amortiguación												
P	Anillos/placas de amortiguación elásticos en ambos lados											
PPS	Amortiguación neumática autorregulable en ambos lados											
Detección de posiciones												
A	Para detectores de proximidad											
Variante												
S2	Doble vástago											
S6	Juntas termorresistentes hasta máx 120 °C											
TL	Placa identificadora imperdible											

Ilustración 35 Codificación de referencia del cilindro neumático compacto ADNGF (Festo AG & Co. KG, s. f.).

El cilindro incorpora una **placa de yugo acoplada al vástago**, la cual se desplaza sobre **guías laterales integradas**. Esta placa permite la **transmisión directa del movimiento lineal**, evita la **rotación del vástago** y mejora significativamente la capacidad del actuador para **soportar cargas laterales y esfuerzos torsionales**. El espesor de la placa de yugo es de aproximadamente **10 mm**, de acuerdo con las dimensiones típicas del fabricante para este modelo.

Las **dimensiones nominales del cilindro (47 × 50 mm)** corresponden únicamente al **cuerpo del actuador**, es decir, a la carcasa que integra la cámara neumática y el sistema de guiado. Estas dimensiones **no consideran** ni el espesor de la placa de yugo ni la **salida del vástago asociada a la carrera del cilindro**.

Para efectos de **instalación, análisis de interferencias y verificación del espacio disponible**, debe considerarse la **longitud total del conjunto**, los datos fueron tomados del dibujo técnico **ilustración 53** la cual se obtiene sumando los siguientes elementos:

- Longitud del cuerpo del cilindro: $\approx 50 \text{ mm}$
- Espesor de la placa de yugo: $\approx 10 \text{ mm}$
- Carrera del cilindro: 5 mm

Por lo tanto, la longitud total aproximada del conjunto es:

$$\text{Longitud total} \approx 50 + 10 + 5 = \boxed{65 \text{ mm}}$$

5.2 elementos de control

Como se mencionó en el subtema 5.1, el cilindro **ADNGF-32-5-P-A** es un **cilindro neumático de doble efecto**, por lo que requiere un elemento de control capaz de dirigir el flujo de aire comprimido tanto para el avance como para el retroceso del émbolo. Este movimiento es indispensable para realizar las funciones de **bloqueo y desbloqueo** del sistema durante el cambio de formato.

Con el objetivo de **reducir tiempos de instalación, costos y complejidad del sistema**, se descarta el uso de electroválvulas. Además, al tratarse de un **sistema manual**, se requiere que el accionamiento del bloqueo y desbloqueo se encuentre **al alcance directo del operador**, permitiendo una operación rápida e intuitiva durante los ajustes de la máquina. Aunque no existe una restricción crítica de espacio, el sistema debe ser ordenado, modular y de fácil mantenimiento.

Debido a que el sistema cuenta con **12 cilindros**, se requiere que cada uno sea controlado de manera **independiente**, lo que implica la instalación de **12 válvulas de control direccional**.

Para el control del movimiento del émbolo se optó por la válvula **Festo VUWG-L10-M52-M-M5**, se puede observar en la **ilustración 37** la cual es una **válvula direccional 5/2 pilotada neumáticamente**, diseñada para aplicaciones industriales donde se requiere un control robusto y confiable mediante señales de aire comprimido (Festo, 2023).

Esta válvula permite:

- Alimentar alternativamente las dos cámaras del cilindro de doble efecto.
- Controlar el **avance y retroceso del émbolo** mediante señales neumáticas.

- Eliminar la necesidad de alimentación eléctrica, alineándose con el enfoque de simplicidad y reducción de costos.

Las válvulas VUWG pueden montarse de manera individual o en **bancos de válvulas**. En este proyecto se emplearán **3 bancos de 4 válvulas**, dando un total de **12 válvulas**, lo cual permite:

- Reducir el espacio ocupado.
- Simplificar la distribución del aire comprimido.
- Facilitar el mantenimiento y futuras modificaciones del sistema.

Es importante destacar que la función del banco es únicamente **constructiva y de distribución**, ya que cada válvula puede ser operada de manera completamente independiente.

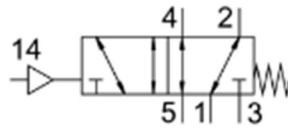


Ilustración 36 diagrama de la válvula Modelo VUWG-L10-M52-M-M5

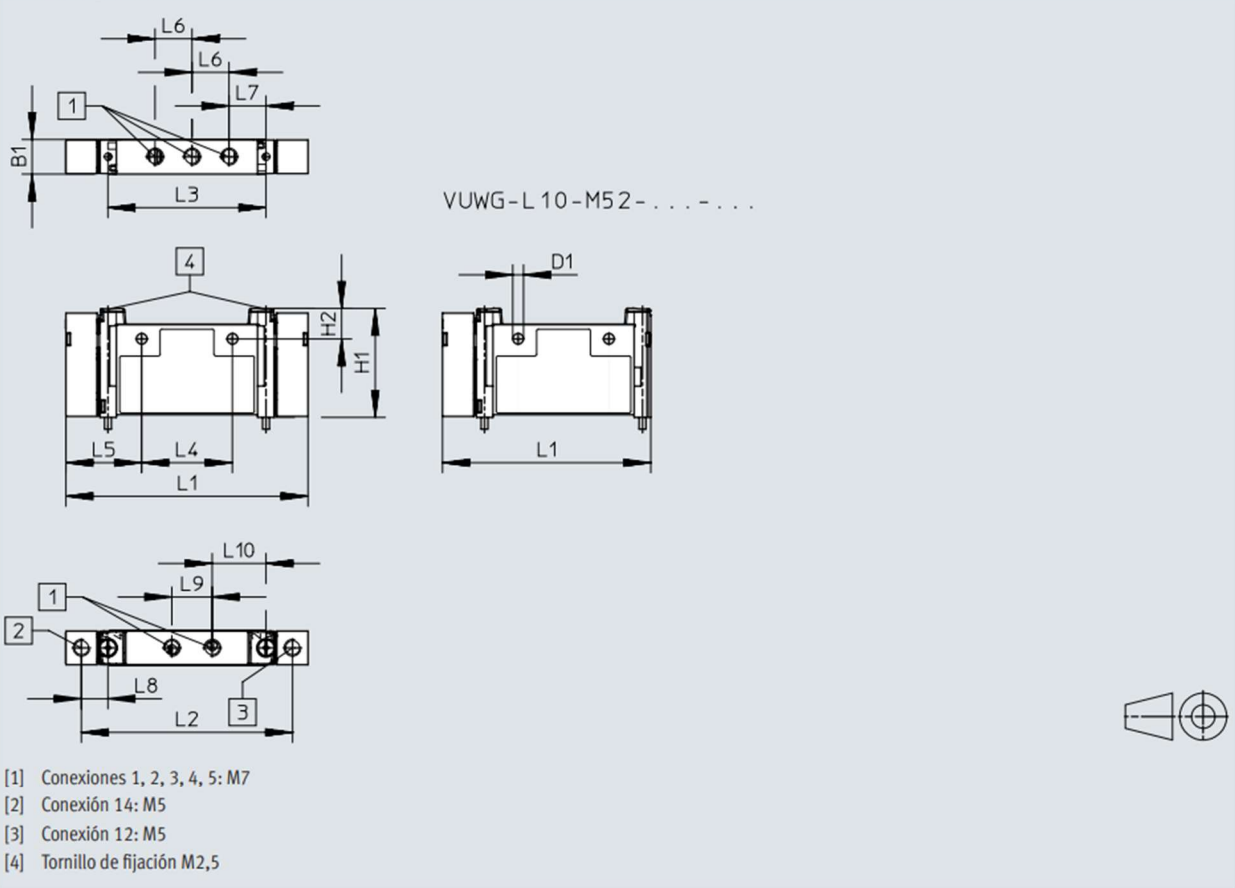


Ilustración 37 válvula Modelo VUWG-L10-M52-M-M5

Características y datos técnicos de la válvula
• Marca: Festo
• Serie: VUWG
• Modelo: VUWG-L10-M52-M-M5
• Tipo: Válvula direccional neumática
• Configuración: 5/2 vías
• Accionamiento: Eléctrico mediante solenoide
• Estado de reposo: Retorno por resorte (monoestable)
• Medio de trabajo: Aire comprimido filtrado

• Rango de presión de trabajo: 2 a 10 bar
• Conexiones neumáticas: Rosca M5
• Montaje: En línea o sobre placa/manifold
• Función principal: Control del avance y retroceso de cilindros neumáticos de doble efecto
Puertos y simbología
La válvula cuenta con cinco puertos , identificados según norma neumática:
• Puerto 1 (P): Entrada de aire comprimido
• Puerto 2 (A): Salida hacia una cámara del cilindro
• Puerto 4 (B): Salida hacia la cámara opuesta del cilindro
• Puertos 3 y 5 (R / S): Escapes de aire
• Puerto 14: Accionamiento eléctrico (solenoides)

Tabla 4 características generales e identificación de puertos datos extraídos de Festo AG & Co. KG.



	B1	D1 ø	H1	H2	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10
VUWG-L10-...	10,2	3,2	32,5	9,1	72	62,8	47	27	22,5	11	11	7,9	12	16
VUWG-L10-M52-...					62									

Ilustración 38dibujo técnico de válvulas VUWG Festo AG & Co. KG.

Cada válvula **VUWG-L10-M52-M-MS** será activada mediante una **señal neumática** proveniente de una válvula de mando manual. En este caso, se optó por la válvula **modelo K/O-3-PK-3 ajustable**, la cual pertenece a la **familia de válvulas de secuencia y reguladoras de presión**.

La válvula **K/O-3-PK-3** mire la **ilustración 40** es una **válvula neumática 3/2 de accionamiento manual**, activada mecánicamente mediante la **opresión de un botón**, lo que permite al operador generar de manera directa una señal neumática de control. Esta señal es enviada al puerto de pilotaje de la válvula VUVG correspondiente, provocando la conmutación de la válvula direccional 5/2 y, en consecuencia, el movimiento del cilindro neumático.



Ilustración 40 válvula VUWG-L10-M52-M-M5

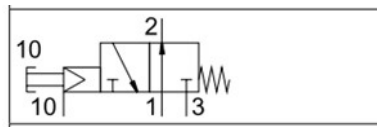


Ilustración 39 diagrama de válvula VUWG-L10-M52-M-M5

Durante el proceso de **cambio de posición** , la válvula K/O-3-PK-3 es operada directamente por el operador, permitiendo un control manual, inmediato y seguro del **bloqueo y desbloqueo** de cada cilindro de manera individual. Este enfoque elimina la necesidad de componentes eléctricos, reduce el tiempo de instalación y simplifica el mantenimiento del sistema, alineándose con los objetivos del proyecto.

Cuando el operador acciona la válvula K/O-3-PK-3:

1. La válvula permite el paso de aire comprimido hacia la línea de control.
2. Esta presión neumática llega al **puerto de pilotaje** de la válvula **VUWG-L10-M52-M-M5** correspondiente.
3. El carrete interno de la válvula **VUWG-L10-M52-M-M5** se desplaza, cambiando la posición de la válvula.
4. El aire comprimido se redirige hacia una de las cámaras del cilindro ADNGF.
5. El émbolo avanza o retrocede, realizando la función de **bloqueo o desbloqueo**.

Al liberar la válvula K/O-3-PK-3, la señal neumática se descarga y la válvula VUWG regresa a su posición inicial (dependiendo de su configuración interna), provocando el movimiento contrario del cilindro.

Cada cilindro cuenta con **su propia válvula K/O-3-PK-3**, lo que garantiza un control totalmente individual y evita interferencias entre actuadores. Sus características son :

Rango de ajuste: 0–8 bar (0–120 psi)
Número de conexiones: 3 puertos

Altura total: ~50 mm
Ancho frontal: ~25 mm
Profundidad: ~30–35 mm
Diámetro de perilla: ~15 mm
Rosca de conexiones neumáticas: normalmente $\varnothing$ 4–6 mm o compatible con tubería tipo Festo 4/6 mm (depende del adaptador instalado)

Tabla 5 datos técnicos de válvula VUWG-L10-M52-M-M5

5.3 alimentación y distribución de aire comprimido

Debido a que los **porta cuchillas requieren una fuente de aire comprimido** para su correcto funcionamiento, se aprovechará un **suministro de aire existente en las proximidades del sistema**. A partir de este punto se instalará una válvula reguladora, cuya función será acondicionar el aire comprimido mediante la filtración de impurezas y la regulación de la presión de trabajo adecuada para el sistema neumático.

Desde el conjunto FRL se derivará una **línea principal de aire comprimido**, la cual se conectará a un **distribuidor de aire comprimido**. Dicho distribuidor será el encargado de suministrar aire de manera uniforme a un total de **24 válvulas neumáticas**, conformadas por **12 válvulas direccionales tipo 5/2** y **12 válvulas de control modelo K/O-3-PK-3**.

5.3.1 Distribuidor

Se requiere el diseño e implementación de un distribuidor como el de la **ilustración 41** es un ejemplo visual para la actualización se necesita un distribuidor con una entrada principal de aire comprimido de 3/8", destinado a suministrar aire a un conjunto de 24 válvulas, compuesto por 12 válvulas de control y 12 válvulas direccionales tipo 5/2.

El distribuidor contará con 24 salidas individuales, cada una preparada para la instalación de racores neumáticos número 4, los cuales permitirán la conexión directa hacia las válvulas correspondientes. La entrada de aire se realizará mediante un racor de 3/8", conectado a la línea principal proveniente del sistema de generación y acondicionamiento de aire comprimido (compresor, filtro y regulador). Las líneas de distribución de aire comprimido estarán

conformadas por mangueras neumáticas compatibles con racores número 4, garantizando una correcta estanqueidad, facilidad de montaje y un caudal adecuado para el funcionamiento simultáneo de las válvulas. Este tipo de configuración permite una distribución uniforme del aire, minimiza pérdidas de presión y facilita el mantenimiento del sistema neumático.

El cuerpo del distribuidor deberá ser fabricado en material metálico (preferentemente aluminio), debido a su buena resistencia mecánica, ligereza y adecuada capacidad para soportar las presiones de trabajo típicas de sistemas neumáticos industriales.



Ilustración 41 Distribuidor de aire neumático Festo FR-8-1/2 (bloque distribuidor para aire comprimido). Fuente: Novaut – Distribuidores de aire comprimido

5.3.2 conexión rápida *push-in* (racor)

la **conexión push-in** es un tipo de acoplamiento rápido utilizado en sistemas neumáticos para unir mangueras o tubos de aire sin necesidad de herramientas. Su funcionamiento se basa en introducir el tubo directamente en el racor hasta el tope; en ese momento, un anillo interno con garras metálicas lo sujeta firmemente, mientras que una junta tórica asegura la estanqueidad del sistema. Para liberar la manguera, basta con presionar el anillo de liberación del racor y extraer el tubo, como se muestra su diseño en la **ilustración 42**

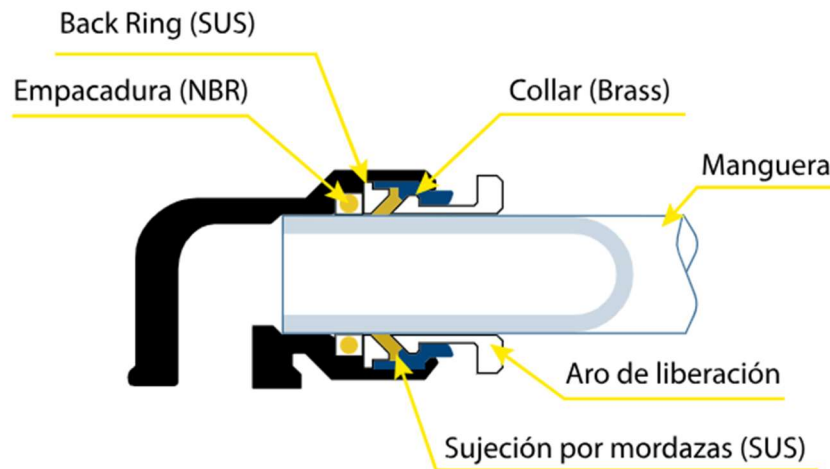


Ilustración 42 Partes principales de una conexión neumática tipo push-in (manguito de liberación, collar y ganchos de sujeción) para unión de mangueras. Fuente: Cybermatics

Para la correcta interconexión de los elementos del sistema neumático, se requiere la instalación de los siguientes racores y conexiones:

En primer lugar, se necesitarán dos conexiones con racores de 3/8", **ilustración 43** las cuales permitirán la conexión entre el regulador y el distribuidor de aire comprimido, garantizando un suministro adecuado de aire acondicionado hacia el sistema. El distribuidor de aire comprimido deberá contar con 24 conexiones equipadas con racores tipo codo número 4, destinadas a alimentar individualmente a cada una de las válvulas neumáticas del sistema.

Cada banco de válvulas requerirá un total de 16 conexiones tipo codo número 4 **ilustración 44**, necesarias para la correcta distribución del aire hacia las válvulas direccionales y sus respectivas salidas de trabajo. Las válvulas de control no requieren este tipo de conexión, ya que incorporan conexiones rápidas integradas, en las cuales la manguera neumática se inserta directamente sin necesidad de racores adicionales.

Finalmente, cada uno de los 12 pistones neumáticos necesitará dos conexiones tipo codo número 4, correspondientes a las cámaras de avance y retroceso del actuador. La información se muestra representada en una tabla a continuación



Ilustración 43 conexión recta de 3/8 tipo push in . Fuente: Cybermatics



Ilustración 44conexión de codo 4 tipo push in . Fuente: Cybermatics

ELEMENTO	Tipo de conexión	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Regulador de presión MS4-LR	Racor recto 3/8"	2	Conexión de salida del regulador hacia la entrada del distribuidor
Conexión de salida del regulador hacia la	Racor tipo codo #4	24	Salidas destinadas a la alimentación de válvulas neumáticas

entrada del distribuidor			
Bancos de válvulas	Racor tipo codo #4	48	Se tiene 3 bancos de 4 válvulas por banco, cada válvula necesita 4 conexiones
Válvulas de control	no requiere conexión	0	No necesita conexión de adicional
Pistones neumáticos	Racor tipo codo #4	24	Se necesitan 2 conexiones por cada pistón, 12 pistones en total

Tabla 6 Distribución de conexiones tipo Racor utilizadas en el sistema neumático

5.3.3 Línea de aire comprimido

Las líneas de aire comprimido del sistema neumático se realizarán mediante manguera neumática de poliuretano (PU) de 4 mm de diámetro exterior, compatible con racores rápidos número 4. Este tipo de manguera se empleará para la interconexión entre el distribuidor de aire comprimido, los bancos de válvulas, las válvulas direccionales 5/2, las válvulas de control y los pistones neumáticos.

La selección de manguera de poliuretano se debe a su alta flexibilidad, resistencia mecánica y facilidad de instalación, características que permiten realizar recorridos compactos y ordenados sin comprometer el flujo de aire ni la estanqueidad del sistema. Asimismo, su capacidad para operar dentro del rango de presión y temperatura requerido garantiza un funcionamiento confiable durante la operación continua del equipo.

El uso de conexiones rápidas tipo *push-in* facilita el montaje, desmontaje y mantenimiento del sistema neumático, reduciendo tiempos de intervención y mejorando la seguridad operativa.

Característica	Especificación
Tipo de manguera	Neumática de poliuretano (PU)
Modelo de referencia	PUN-H-4×0.75 (Festo o equivalente)

Diámetro exterior	4 mm
Espesor de pared	0.75 mm
Diámetro interior	Aproximadamente 2.5 mm
Material	Poliuretano (PU)
Color	Azul
Tipo de conexión	Racor rápido tipo push-in
Presión de trabajo	Hasta 8–10 bar
Presión de ruptura	> 25 bar
Temperatura de operación	–35 °C a +60 °C
Radio mínimo de curvatura	Reducido (alta flexibilidad)
Aplicación típica	Sistemas neumáticos industriales

Tabla 7 características de manguera neumática Festo

CAPITULO VI. CREACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO

Actualmente existen instrucciones de operación y mantenimiento para el sistema de porta cuchillas, las cuales contemplan actividades como el cambio de cuchillas, cambio de yunque, lubricación, así como la corrección de fallas asociadas a piezas de desgaste. Estas actividades son ejecutadas por el personal de mantenimiento mediante órdenes de trabajo (OT) programadas en

Kimberly-Clark de México, S.A.B. de C.V.

ORDEN DE TRABAJO

Página: 1 de 3
Fecha: 22/10/2025
Impresión: 17:56:53
Versión:
Plantilla:

Encabezado

Solicitante / Orden de Trabajo:
Informado por:

TX - 1624047

Asignado por:

Asignado a:

SALVADOR LOPEZ
HERNANDEZ

TX-PLA-30

JONATHAN MATAMOROS
GONZALEZ

Tipo:

PM - Mtz. Preventivo

11387 - COFORM

Prioridad: 01

Estado: 75 - Emisida

Clase: MEC - Mecanica

Descripción OT:

MP A SLITERS (BIMESTRAL)

Programación MH:

CF1-0565-000-400 - MP A SLITERS (BIMESTRAL)

FIRMA:

Fecha Solicitad
(Creación)

14/JUL/2025

Fecha Inicial
Planificada

11/SEP/2025

Fecha Final Planificada

25/SEP/2025

Hora Inicial

16:30

Hora Final

18:30

Objeto Principal

Código:

CF1-0560

Descripción:

SLITERS COFORM 1

Criticidad:

Fecha Puesta en

Marcha:

01/01/08

Ubicación:

KCM-06 - KIMBERLY CLARK DE MEXICO -
PLANTA TLAXCALA

Fabricante:

DIHES - CASSOLI

Modelo:

3-08

Serial:

774520

Número de Tag / Circuito

☐

Usa todo tu equipo de Seguridad

Uniforme completo, lentes de protección, guantes de carraza o acordes a tu actividad, faja, zapatos con casquillo y/o dieléctricos, tapones auditivos.

Antes de comenzar un trabajo. Siempre:

Avisa al Responsable de equipo y a tu Supervisor.

Desenergiza el equipo y coloca tu candado y/o tarjeta de Seguridad en el arrancador de la consola y/o CCM y en el arrancador al pie del equipo.

Espera a que el equipo esté totalmente parado para comenzar cualquier trabajo.

Cierra válvulas de alimentación y drena o ventea los equipos para despresurizarlos y eliminar gases.

Al terminar tu trabajo avisa a los responsables del equipo y tu supervisor.

Retira tus candados y/o tarjetas de seguridad.

Deja limpia tu área de trabajo

Activos de la Ruta

Código del Activo

Descripción

Categoría

Ubicación

Campos personalizados del equipo

Lista de actividades

Actividad	Descripción del plan de tareas	Ocupación	Fecha de Inicio	Fecha de finalización	Suministrador
10	CF1-0560-000-400 MP A SLITERS (BIMESTRAL)	TX-TEG-ELM	11/SEP/2025	17/SEP/2025	

Comentarios de la Actividad

Instrucciones de planes de tareas

M22332 [24/DIC/2019 11:31]:

Ilustración 45 formato de orden de trabajo de mantenimiento pagina 1

Actividad	Descripción del plan de tareas	Ocupación	Fecha de inicio	Fecha de finalización	Suministros																																										
Lista de actividades Instrucciones de planes de tareas "MP A SLITTERS COFORM - GENERAL" Para realizar este mantenimiento deberá tener en cuenta que el uso de aire comprimido en la limpieza de los distintos componentes de este módulo NO ESTÁ PERMITIDO ya que lejos de ayudar, provocaría en que el polvo penetre de manera forzada en áreas de difícil acceso, provocando las fallas prematuras del equipo. REMOCIÓN DEL POLVO 1.-Primera mente limpia todo el módulo empleando una brocha, después cuando mayoría del polvo haya sido removido, procede a aspirarlo LUBRICACIÓN DE RODAMIENTOS LINEALES Para realizar este paso los rieles de montaje de rodamientos lineales deberán estar previamente limpios. 1.-Verifica que los sellos de los rodamientos se encuentren libres de polvo e imperfecciones, de encontrar exceso de suciedad en ellos límpialos. Podrás emplear papel tissue con hidraflush para eliminarlo. 2.-Si encuentras que alguno de los sellos está muy dañado entonces procede al reemplazo del rodamiento. <table border="1"> <thead> <tr> <th>ID PARTE</th> <th>UBICACIÓN</th> <th>ESTADO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>XXX</td> <td>Movimiento long. Cuchillas</td> <td>APLANN</td> </tr> <tr> <td>XXX</td> <td>Movimiento transversal cuchillas</td> <td>APLANN</td> </tr> <tr> <td>XXX</td> <td>Movimiento yunque</td> <td>APLANN</td> </tr> </tbody> </table> 3.-Si has verificado que los rodamientos y sellos se encuentran en buenas condiciones entonces procede a su reubicación. Meses a Relubricar: Febrero, Junio y Octubre. <table border="1"> <thead> <tr> <th>UBICACIÓN</th> <th>GRASA</th> <th>CANTIDAD p/rodamiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ensamble de movimiento longitudinal cuchillas (4 pzas.)</td> <td>EP-1</td> <td>2 gramos</td> </tr> <tr> <td>Cuchillas de corte (6 cuchillas en total, 2 pzas/cuchilla)</td> <td>EP-1</td> <td>1 gramo</td> </tr> <tr> <td>Yunque (5 yunque en total, 2 pzas/yunque)</td> <td>EP-1</td> <td>2 gramos</td> </tr> </tbody> </table> ESTADO DE LAS CONEXIONES RÁPIDAS Deberás alimentar el módulo con aire en busca de fugas y conexiones caídas, si amerita reemplazo, realizarlo. Nota: Verificar en anaqueil de tornillería (COFORM) que haya piezas de reemplazo, de lo contrario reportar en esta orden de trabajo para que se reserven. <table border="1"> <thead> <tr> <th>ID PARTE</th> <th>DESC.</th> <th>ESTADO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CONECTOR</td> <td>118768</td> <td>QSK-1/8-4 APLANN</td> </tr> <tr> <td>CONECTOR</td> <td>118767</td> <td>QSKL-M5-4 APLANN</td> </tr> <tr> <td>REGULADOR</td> <td>118765</td> <td>GRU-M5-QS APLANN</td> </tr> <tr> <td>EMPAQUE</td> <td>118754</td> <td>OL-1/8 APLANN</td> </tr> <tr> <td>EMPAQUE</td> <td>118756</td> <td>OL-M5 APLANN</td> </tr> </tbody> </table> PANEL NEUMÁTICO Las presión movimiento vertical y horizontal de la cuchilla deberán ser las siguientes: (MOVIMIENTO PRESIÓN PSI)						ID PARTE	UBICACIÓN	ESTADO	XXX	Movimiento long. Cuchillas	APLANN	XXX	Movimiento transversal cuchillas	APLANN	XXX	Movimiento yunque	APLANN	UBICACIÓN	GRASA	CANTIDAD p/rodamiento	Ensamble de movimiento longitudinal cuchillas (4 pzas.)	EP-1	2 gramos	Cuchillas de corte (6 cuchillas en total, 2 pzas/cuchilla)	EP-1	1 gramo	Yunque (5 yunque en total, 2 pzas/yunque)	EP-1	2 gramos	ID PARTE	DESC.	ESTADO	CONECTOR	118768	QSK-1/8-4 APLANN	CONECTOR	118767	QSKL-M5-4 APLANN	REGULADOR	118765	GRU-M5-QS APLANN	EMPAQUE	118754	OL-1/8 APLANN	EMPAQUE	118756	OL-M5 APLANN
ID PARTE	UBICACIÓN	ESTADO																																													
XXX	Movimiento long. Cuchillas	APLANN																																													
XXX	Movimiento transversal cuchillas	APLANN																																													
XXX	Movimiento yunque	APLANN																																													
UBICACIÓN	GRASA	CANTIDAD p/rodamiento																																													
Ensamble de movimiento longitudinal cuchillas (4 pzas.)	EP-1	2 gramos																																													
Cuchillas de corte (6 cuchillas en total, 2 pzas/cuchilla)	EP-1	1 gramo																																													
Yunque (5 yunque en total, 2 pzas/yunque)	EP-1	2 gramos																																													
ID PARTE	DESC.	ESTADO																																													
CONECTOR	118768	QSK-1/8-4 APLANN																																													
CONECTOR	118767	QSKL-M5-4 APLANN																																													
REGULADOR	118765	GRU-M5-QS APLANN																																													
EMPAQUE	118754	OL-1/8 APLANN																																													
EMPAQUE	118756	OL-M5 APLANN																																													

Ilustración 46 formato de orden de trabajo de mantenimiento página 2

Dado que el único cambio propuesto en el sistema slitter consiste en la eliminación de los motores a pasos y su reemplazo por cilindros neumáticos con alimentación de aire comprimido, el plan de mantenimiento propuesto no modifica las rutinas existentes del porta cuchillas, sino que se enfoca exclusivamente en el nuevo sistema neumático.

En lugar de un mantenimiento correctivo o preventivo complejo, se propone implementar una rutina de inspección periódica, orientada a la detección temprana de desviaciones u observaciones fuera de los rangos normales de operación, tales como fugas de aire, deterioro de mangueras, conexiones flojas, funcionamiento anómalo de válvulas o pérdida de presión. Esta estrategia permitirá asegurar la confiabilidad del sistema neumático, minimizar tiempos muertos y mantener la continuidad operativa del slitter sin incrementar significativamente la carga de mantenimiento.

6.1 Diferencias entre una IR Y UNA OT

Una **rutina de inspección** es un conjunto de actividades sistemáticas orientadas a **evaluar el estado físico y operativo** de un equipo o sistema, sin intervenirlo de manera directa. Su objetivo principal es **detectar anomalías, desviaciones o signos tempranos de deterioro**, tales como fugas, desgaste, suciedad, corrosión o variaciones en los parámetros de operación. Esta rutina se basa principalmente en observaciones visuales, mediciones básicas y pruebas funcionales, y forma parte del mantenimiento preventivo, ya que permite anticiparse a posibles fallas sin modificar la condición del equipo.

Por otro lado, una **rutina de mantenimiento** comprende un conjunto de actividades planificadas que **sí implican intervención directa sobre el equipo**, con el propósito de **conservar o restaurar su condición funcional**. Estas actividades pueden incluir ajustes, limpieza, lubricación, reapriete, reemplazo de componentes desgastados o calibraciones menores. A diferencia de la rutina de inspección, la rutina de mantenimiento no solo identifica problemas, sino que **actúa sobre ellos** para evitar que evolucionen en fallas mayores.

Desde el punto de vista funcional, la principal diferencia radica en el **nivel de intervención**. Mientras que la rutina de inspección se limita a observar, medir y verificar, la rutina de mantenimiento ejecuta acciones correctivas o preventivas concretas. En este sentido, la inspección genera información técnica que sirve como base para definir cuándo y cómo debe ejecutarse una rutina de mantenimiento.

En cuanto a su alcance, la rutina de inspección suele ser **más rápida, menos invasiva y de menor riesgo**, pudiendo realizarse con el equipo en operación o con paros mínimos. En cambio, la rutina de mantenimiento generalmente requiere **paros programados**, uso de herramientas y, en algunos casos, personal técnico especializado, ya que involucra manipulación directa de los componentes.

Desde la perspectiva de la gestión del mantenimiento, ambas rutinas son **complementarias y no excluyentes**. La rutina de inspección actúa como un mecanismo de monitoreo continuo que permite identificar el momento oportuno para aplicar una rutina de mantenimiento. De esta manera, se optimizan los recursos, se reduce el número de fallas inesperadas y se incrementa la confiabilidad del sistema.

En síntesis, la rutina de inspección se enfoca en **detectar y evaluar condiciones**, mientras que la rutina de mantenimiento se enfoca en **intervenir y corregir**. La correcta diferenciación y aplicación de ambas rutinas permite establecer un sistema de mantenimiento preventivo más eficiente, seguro y alineado con las condiciones reales de operación del equipo.

6.2 Rutina de inspección

La rutina de inspección debe iniciar con la evaluación de la integridad física de los componentes, considerando la presencia de daños visibles, acumulación de suciedad, corrosión o cualquier condición anormal. Esta revisión inicial es fundamental para detectar problemas evidentes que puedan comprometer tanto la seguridad del personal como el funcionamiento del sistema, permitiendo una identificación temprana de riesgos operativos (ISO 14224).

En segundo lugar, la rutina debe incluir la verificación de los parámetros de operación propios del sistema, tales como presión, caudal, temperatura o posición. En sistemas neumáticos, esto implica la comprobación de la presión de trabajo del sistema, la estabilidad del suministro de aire y la respuesta adecuada de los actuadores. La comparación de estos valores con los rangos especificados permite identificar desviaciones que indiquen desgaste, fugas o ajustes incorrectos, los cuales pueden afectar directamente el desempeño del sistema (Festo Didactic, s.f.).

Asimismo, la rutina de inspección debe contemplar la revisión de las conexiones y elementos de unión, como mangueras, racores y sellos, con el fin de detectar fugas, aflojamientos o deterioro progresivo. Diversos estudios de mantenimiento industrial señalan que una proporción significativa de las pérdidas de eficiencia en sistemas neumáticos está asociada a fallas en las conexiones, lo que incrementa el consumo de aire comprimido y, en consecuencia, los costos operativos del sistema (Cengel & Boles, 2015).

Otro elemento esencial dentro de la rutina de inspección es la prueba funcional de los componentes, la cual consiste en accionar válvulas, cilindros y dispositivos de control para verificar que operen de manera correcta, repetible y sin retrasos. Esta etapa confirma que los componentes no solo se encuentran físicamente íntegros, sino que cumplen adecuadamente su función dentro del proceso productivo, asegurando la confiabilidad del sistema (Mobley, 2002).

Finalmente, toda rutina de inspección debe incluir el registro sistemático de los resultados, documentando las condiciones observadas, las desviaciones detectadas y las recomendaciones de seguimiento. Este registro permite generar un historial técnico del equipo, analizar tendencias de deterioro y establecer acciones futuras de mantenimiento preventivo o correctivo, fortaleciendo la confiabilidad del sistema a largo plazo (ISO 14224).

Desde el enfoque del mantenimiento industrial, la rutina de inspección forma parte del mantenimiento preventivo, ya que se ejecuta en intervalos definidos y se basa principalmente en observaciones visuales, mediciones básicas y pruebas funcionales. Estas actividades permiten identificar signos tempranos de desgaste, fugas, desajustes o deterioro progresivo que, si no se atienden oportunamente, pueden derivar en fallas mayores o paros no programados, afectando la continuidad operativa del proceso (Smith & Hawkins, 2004). A continuación, se propone una rutina de inspección

6.3 propuesta de rutina de inspección

RUTINA DE INSPECCION – SISTEMA NEUMÁTICO SLITTER			
Empresa	Kimberly-Clark de México, S.A. de C.V.		
Área	Mantenimiento		
Equipo	Slitter – Porta Cuchillas		
Tipo de OT	Inspección / Mantenimiento Neumático		
Número de OT			
Fecha inicio	Fecha fin		
Hora inicio	Hora fin		
Código del equipo			
Ubicación			
No. Actividad	OK	Observaciones	
1-Verificar presión del regulador de presión Objetivo: Asegurar que el sistema opere a la presión correcta y estable. Instrucciones: - Asegúrate de que el compresor esté en operación normal. - Observa el manómetro del regulador de presión. - Compara la lectura con la presión de trabajo especificada del sistema (ej. 6 bar / 90 psi). - Si la presión es incorrecta: - Levanta o desbloquea la perilla del regulador. - Gira en sentido horario para aumentar presión o antihorario para disminuir. - Bloquea nuevamente la perilla. - Verifica que la presión se mantenga estable al accionar las válvulas. Criterio de aceptación: Presión dentro del rango especificado y sin fluctuaciones.			
2-Revisar fugas en mangueras Objetivo: Detectar pérdidas de aire que reduzcan eficiencia y presión. Instrucciones: - Con el sistema presurizado, realiza una inspección visual de todas las mangueras. - Presta atención a: - Cortes - Aplastamientos - Dobleces excesivos - Desgaste por fricción - Aplica solución jabonosa en las conexiones y tramos sospechosos. - Observa si se forman burbujas. Criterio de aceptación: No deben presentarse burbujas ni silbidos de aire.			
3-Inspeccionar racores Objetivo: Garantizar conexiones firmes y estancas. Instrucciones: Revisa visualmente que todos los racores estén correctamente asentados.			

2. Verifica que la manguera esté completamente insertada en el racor. 3. Revisa que no existan grietas, corrosión o daño mecánico. 4. Ajusta ligeramente con herramienta si se detecta holgura (sin sobre apretar). Criterio de aceptación: Racores firmes, sin movimiento ni fuga de aire.		
4-Revisar válvulas 5/2 Objetivo: Confirmar el correcto funcionamiento de las válvulas direccionales. Instrucciones: 1. Acciona manual o neumáticamente la válvula. 2. Observa el cambio de posición del actuador o cilindro conectado. 3. Verifica que: ○ El cambio sea rápido y completo. ○ No haya retrasos ni bloqueos. 4. Escucha posibles fugas internas durante la conmutación. Criterio de aceptación: La válvula conmuta correctamente y dirige el aire sin fugas.		
5-Revisar válvulas de control Objetivo: Asegurar que las válvulas regulen el flujo o la presión según lo previsto. Instrucciones: 1. Acciona el sistema en condiciones normales de operación. 2. Verifica que la válvula actúe en el momento correcto (ej. secuencia). 3. Ajusta gradualmente la válvula si es regulable. 4. Comprueba que la respuesta del sistema sea repetible. Criterio de aceptación: Respuesta consistente y acorde al ajuste establecido.		
6-Inspeccionar cilindros neumáticos Objetivo: Verificar integridad mecánica y correcto movimiento. Instrucciones: 1. Observa visualmente el cuerpo del cilindro y el vástago. 2. Revisa que: ○ No existan fugas en sellos o tapas. ○ El vástago no tenga rayaduras ni corrosión. 3. Acciona el cilindro varias veces. 4. Verifica que el movimiento sea: ○ Suave ○ Lineal ○ Sin vibraciones ni golpes Criterio de aceptación: Cilindro opera sin fugas y con movimiento uniforme.		

Tabla 8 propuesta de rutina de inspección que incluye instrucciones y puntos a inspeccionar elaboración propia

En este contexto, las actividades de verificación de presión del sistema , revisión de fugas en mangueras, inspección de racores, revisión de válvulas 5/2, válvulas de control e inspección de cilindros neumáticos corresponden claramente al mantenimiento preventivo, ya que se realizan

de manera planificada y periódica con el objetivo de evitar fallas antes de que estas se presenten. Este tipo de mantenimiento se enfoca en la conservación del estado funcional de los equipos y en la detección temprana de condiciones anormales, reduciendo la probabilidad de fallos inesperados y asegurando la continuidad operativa del sistema (Mobley, 2002).

6.4 La importancia del mantenimiento preventivo

De acuerdo con la literatura especializada en mantenimiento industrial, el mantenimiento preventivo se define como el conjunto de actividades programadas que se ejecutan a intervalos de tiempo definidos para disminuir el deterioro progresivo de los componentes y prolongar su vida útil. En los sistemas neumáticos, este enfoque resulta especialmente relevante, ya que pérdidas de presión, fugas de aire o desgaste de sellos pueden desarrollarse de forma gradual y pasar desapercibidas hasta afectar de manera significativa el desempeño global del sistema (Smith & Hawkins, 2004).

en sistemas neumáticos radica en que permite mantener una presión de trabajo estable mediante la correcta regulación del FRL, asegurar el funcionamiento adecuado de las válvulas direccionales y de control, y garantizar que los cilindros neumáticos operen de manera suave, uniforme y repetible. De acuerdo con Festo Didactic, una presión incorrecta o la presencia de fugas en un sistema neumático impacta directamente en la fuerza, velocidad y precisión de los actuadores, lo que puede provocar movimientos erráticos o incompletos en los mecanismos asociados (Festo Didactic, s.f.).

Desde el punto de vista operativo y económico, la aplicación sistemática del mantenimiento preventivo contribuye a la reducción de paros no programados, a la disminución del consumo innecesario de aire comprimido y a la prevención de daños mayores en válvulas, mangueras y cilindros. Considerando que el aire comprimido es una de las formas de energía más costosas en la industria, la detección oportuna de fugas y fallas incipientes representa un beneficio directo en términos de eficiencia energética y costos de operación (Cengel & Boles, 2015).

Finalmente, considerando que el sistema neumático opera bajo condiciones industriales estables y con una carga de trabajo moderada, se establece una **frecuencia de inspección cada tres meses** para la ejecución de estas tareas. Esta periodicidad resulta adecuada para identificar desgaste progresivo, verificar la integridad de los elementos de conexión y evaluar el correcto funcionamiento de válvulas y actuadores sin incurrir en inspecciones excesivas. La norma ISO 14224 indica que la definición de los intervalos de mantenimiento debe basarse en la criticidad del equipo, las condiciones de operación y la experiencia histórica, siendo la inspección trimestral una práctica común en sistemas neumáticos no críticos (ISO 14224).

CAPITULO VII IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA NEUMÁTICO

En el área de **Coform**, al final de cada mes se programan **paros de máquina** con el objetivo de realizar labores de limpieza general y ejecutar actividades de mantenimiento que no pueden llevarse a cabo mientras la máquina se encuentra en operación. Estos paros programados tienen una duración aproximada de **dos a tres días**, periodo durante el cual el equipo permanece completamente fuera de servicio.

Dichos paros representan una **oportunidad estratégica** para la ejecución de trabajos adicionales, tales como modificaciones, ajustes o mejoras al sistema, que de otra manera no serían viables con la máquina en funcionamiento. Al aprovechar estos periodos de inactividad programada, es posible intervenir componentes críticos de forma segura y controlada, sin afectar la continuidad del proceso productivo ni generar paros no planificados.

7.1 desensamble

El objetivo de esta intervención es retirar las bases de los portacuchillas de la forma **menos invasiva posible**, minimizando el desensamble de componentes auxiliares y reduciendo el tiempo total de intervención sobre la máquina, sin comprometer la integridad estructural ni la alineación del sistema de slitter.

Procedimiento de desmontaje

El procedimiento inicia con el **retiro del tornillo sin fin**, con este interactúa los motores de los porta cuchillas. Para ello, se procede al aflojamiento de los **tornillos opresores tipo Allen** pertenecientes a los elementos de sujeción tipo **collarín** (ver **Ilustración 47**) los cuales mantienen al tornillo sin fin fijo y correctamente alineado respecto a la estructura del slitter.

El tornillo sin fin se encuentra asegurado mediante **dos collarines**, uno en cada extremo, anclados directamente a la estructura portante del equipo. Estos collarines cumplen la función de limitar el desplazamiento axial y evitar la rotación no deseada del tornillo durante la operación normal de la máquina. Una vez aflojados ambos juegos de tornillos opresores, el tornillo sin fin queda liberado de sus puntos de fijación.

Posteriormente, el tornillo sin fin puede ser retirado mediante un **movimiento de giro manual**, cuidando de no generar esfuerzos excesivos sobre los apoyos, rodamientos o elementos de guía asociados. Durante esta operación, se recomienda mantener el eje alineado.

La remoción del tornillo sin fin permite liberar el sistema de desplazamiento de los porta cuchillas, facilitando el acceso directo a las bases sin necesidad de desmontar componentes adicionales.

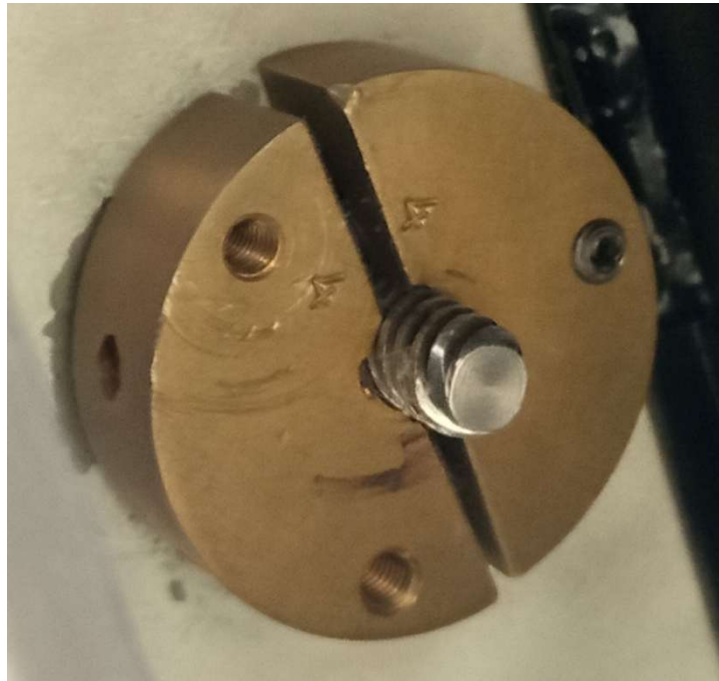


Ilustración 47 collarín que sujeta el tornillo sin fin

Posteriormente, se desacopla el **rodamiento lineal del lado más cercano (ver Ilustración 48)** para facilitar el acceso a la base del porta cuchillas. Para ello, se aflojan sus elementos de sujeción y se retira cuidadosamente, evitando dañar la guía o el propio rodamiento.

Una vez retirado el rodamiento lineal, la **base del porta cuchillas queda libre**, lo que permite extraerla mediante un movimiento controlado de **empujar y jalar hacia arriba**, verificando que no existan interferencias durante la maniobra.

Antes de retirar completamente cada base, se procede a **desconectar los motores** correspondientes, asegurando que no exista alimentación eléctrica. De esta manera, se pueden retirar de forma ordenada los **12 porta cuchillas**, repitiendo el mismo procedimiento para cada uno.



Ilustración 48 rodamiento lineal sujeto a la base del porta cuchillas

una vez desmontado la porta cuchillas **Ilustración 49** junto con su base imagen , se procede a **separar la base del motor, la base del porta cuchillas, el porta cuchillas y la cuchilla por seguridad**. Estos componentes se encuentran unidos mediante **tornillos Allen métricos de 3/16"**, mientras que el porta cuchillas cuenta además con un **tornillo opresor** con cuerda métrica de **1/8"** y una **longitud aproximada de media pulgada**.

Al retirar los tornillos y separar estas tres piezas principales —base del motor, base del porta cuchillas y porta cuchillas— **Ilustración 50** se obtiene finalmente la **base individual**, la cual queda completamente libre. Este componente será el elemento principal sobre el que se realizarán las siguientes modificaciones del proyecto.



Ilustración 49 porta cuchillas, base y motor fuera del sistema

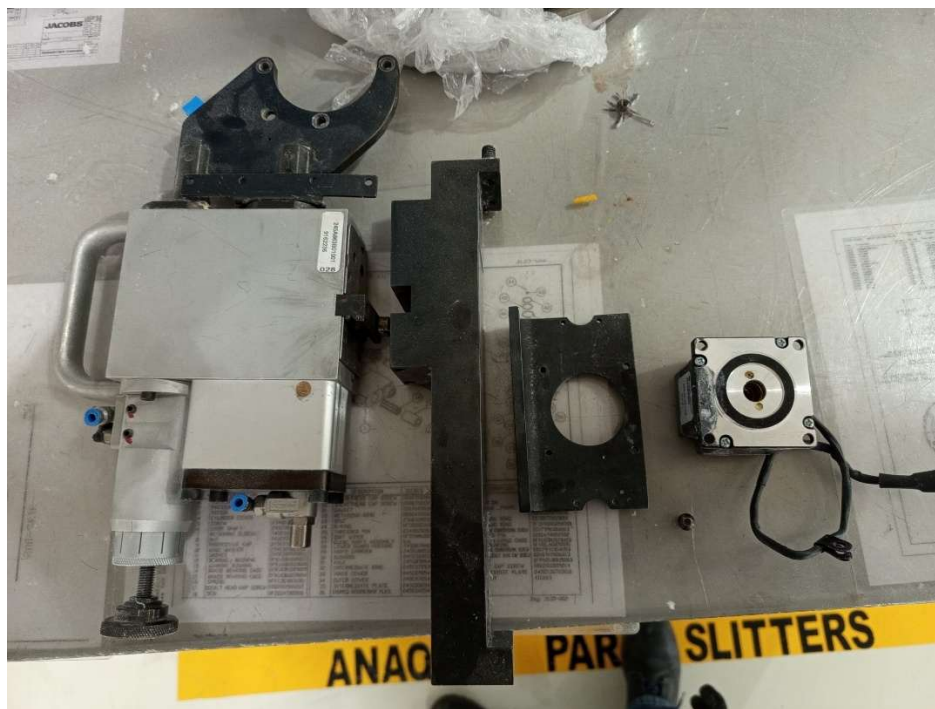


Ilustración 50 piezas del porta cuchillas desensamblado

7.2 Descripción de la modificación

La modificación se llevará a cabo directamente en la **base del porta cuchillas**, donde se requiere la realización de un **orificio pasante** para permitir el paso de un tornillo que fijará la base al **cilindro neumático**. Este se colocara en el lugar donde se encontraba el motor. Dicho orificio debe incluir un **barrenado** para ocultar la cabeza del tornillo, considerando que la base cuenta con un **espesor aproximado de 1 pulgada (2.54 cm)**, ver **Ilustración 51** el cual es suficiente para realizar esta operación sin comprometer la resistencia mecánica de la pieza.



Ilustración 51 se muestra el espesor de la base del porta cuchillas

Estas dimensiones permiten alojar completamente la cabeza del tornillo dentro de la base, garantizando una superficie exterior libre de interferencias y una fijación segura entre la base del porta cuchillas y el cilindro neumático.

7.2.1 Orificios de anclaje del cilindro

Se requieren dos orificios de anclaje como se aprecia en la **ilustración 52** para fijar cada cilindro neumático. Los cilindros Festo cuentan en su parte posterior con **cuatro orificios en la base inferior**, uno en cada esquina; de estos, **dos orificios ubicados en esquinas opuestas cuentan con cuerda**, los cuales se utilizarán para el anclaje.

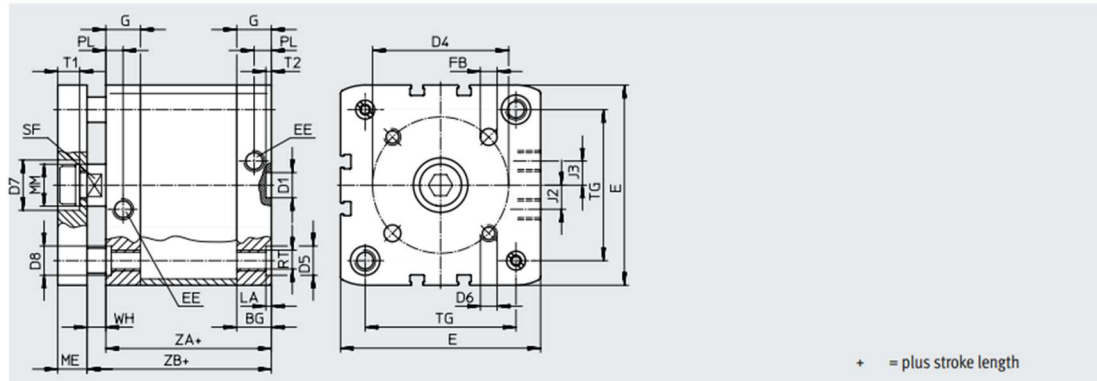
De acuerdo con el **dibujo técnico proporcionado por Festo**, vea la **ilustración 53** Fuente: *Festo – documentación técnica disponible en línea*. la rosca de estos orificios corresponde a un **tornillo M6**.



Ilustración 52 foto del cilindro ADNGF-32-5-P-A,

Con base en los planos disponibles en la página de Festo, el dibujo técnico correspondiente, y el análisis dimensional se obtienen las **distancias entre centros** necesarias para el correcto posicionamiento del cilindro. Considerando el diámetro del émbolo de **32 mm**, y siguiendo las columnas **TG** y **E** del plano técnico, se determinan las siguientes dimensiones:

- **TG = 32.5 mm** (distancia entre centros de los orificios)
- **E = 47 mm** (ancho total del cilindro)



∅	BG	D1 ∅	D4	D5 ∅	D6	D7 ∅	D8	E	EE	FB ∅	G	J2	J3
[mm]	min.	H9	±0.1			H9				H8			
12	17	9	12	6 ^{F9}	M3	—	—	27.5 ^{+0.3}	M5	3	10.5	2	—
16	19.5		14	9 ^{F9}	M4	14		29 ^{+0.3}		4	11	2.6	
20			17					35.5 ^{+0.3}			12		
25			22					M5		39.5 ^{+0.3}	5	15	6
32			26		28	17	47 ^{+0.3}	G1/8	8				
40	27	33	12 ^{F9}	M6	22						54.5 ^{+0.3}	11.5	
50		42				65.5 ^{+0.3}							
63		50				75.5 ^{+0.3}							
80		17	65	15	M8	24	15	95.5 ^{+0.6}	8	16.5	20		
100	21.5	80		M10			113.5 ^{+0.6}	10	21.5				

ø	LA	ME	MM ø H8	PL	RT	ST	T1	T2	TG	WH		ZA	ZB					
[mm]	+0.2			+0.2		H13		+0.1	±0.2	+1.3	PPS +1.4	±0.6	+1.2	PPS +1.3				
12	3.5	6	6	6	M4	5	–	2.1	16	4.2	–	35	39.2	–				
16			8			7			18	4.7			39.7					
20			5		8	10			M5	9	22		5.5		5.5	37	42.5	42.5
25											26				5.5	39	44.5	45.3
32	5	10	12	8.2	M6	10	6	2.6	32.5	6	6.5	44	50	50.6				
40									38	6.1	6.6	45	51.1	51.7				
50		12	16		M8	13			7.5	46.5	7.7	8.2	49	52.7	53.2			
63										56.5	7.5	8		56.5	57			
80	2.6	14	20	10.5	M10	17	10.5	72	8.9	9.4	54	62.9	63.4					
100								89	9	9.8	67	76	76.8					

Ilustración 53 planos y medidas del cilindro **ADNGF-32-5-P-A**, Fuente: Festo – documentación técnica disponible en línea

Estas dimensiones coinciden con el ancho de la base del porta cuchillas, 4.7 cm. Esto deja un margen perimetral aproximado de **7.5 mm**, suficiente para garantizar un anclaje seguro. Lo cual confirma la viabilidad del anclaje sin interferencias estructurales.



Ilustración 54 toma de medidas del ancho de la base del porta cuchillas

7.2.3 Orificio de fijación y barreno para ocultar la cabeza del tornillo

Para el anclaje del cilindro, se realizará un **orificio pasante** se puede ver en la **ilustración 55**, en la base del porta cuchillas, por donde atravesará un **tornillo M6** con una **longitud de ½ pulgada**, el cual sujetará firmemente la base al cilindro. Adicionalmente, se mecanizará un **barreno**, con el objetivo de **ocultar completamente la cabeza del tornillo**, evitando interferencias con otros componentes.

La base del porta cuchillas cuenta con un **espesor de 1 pulgada (2.52 cm)**, lo cual proporciona material suficiente para realizar este barreno sin comprometer la resistencia mecánica de la pieza.

Medidas recomendadas del barreno (para tornillo M6 cabeza Allen)

- **Diámetro del barreno:**
 - 11 mm o 0.433 pulgadas
- **Profundidad del barreno:**
 - 6.5 mm o 0.256 pulgadas

Estas dimensiones permiten alojar completamente la **cabeza cilíndrica del tornillo M6 tipo Allen**, cuya altura aproximada es de 6 mm, dejando una pequeña holgura para asegurar que la cabeza quede totalmente embebida dentro de la base.

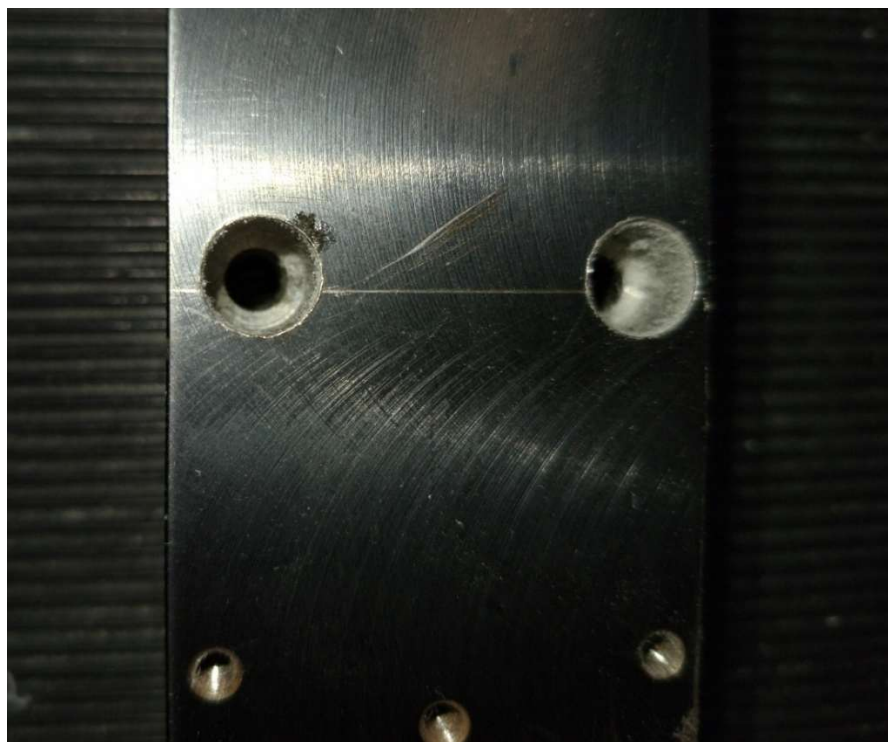


Ilustración 55 barrenos en la base del porta cuchillas

Una vez realizados los orificios y barrenos, se procede al **montaje del cilindro sobre la base**, alineando los orificios y atornillando el conjunto. No se requiere un torque específico; los tornillos únicamente deben quedar **firmente apretados**, asegurando un anclaje sólido y estable. en la **ilustración 56** se puede apreciar el lugar donde será anclado el cilindro Este mismo procedimiento se repite de manera sistemática en **cada una de las once bases restantes**, completando así la modificación en los doce porta cuchillas.



Ilustración 56 la imagen muestra la zona en la que se posiciona el cilindro y la base del porta cuchillas

7.3 ensamble del nuevo sistema

Una vez que las **doce bases del porta cuchillas han sido modificadas y preparadas**, cada una con su **cilindro neumático correspondiente**, se procede a montar nuevamente las bases sobre el riel guía del sistema. Posteriormente, los **rodamientos lineales** que fueron lubricados y limpiados durante el paro aprovechando la oportunidad **se reinstalan y ajustan**, asegurando una correcta **alineación y libre desplazamiento** a lo largo del riel, con el fin de evitar esfuerzos innecesarios y garantizar un movimiento uniforme.

En esta etapa, el **porta cuchillas no se instala de inmediato**, lo cual facilita el acceso a los cilindros y simplifica la realización de las **conexiones neumáticas**. Una vez que todas las bases se encuentran correctamente posicionadas y fijadas, se continúa con el **ensamble del sistema neumático** encargado de accionar los cilindros.

El montaje del sistema neumático inicia con la **instalación de las conexiones neumáticas en los puertos del cilindro**, verificando que cada conexión quede correctamente asegurada y orientada de acuerdo con la dirección de operación. Esta secuencia de ensamble permite un trabajo más ordenado, reduce el riesgo de errores en las conexiones y facilita las etapas posteriores de ajuste y puesta en marcha.

7.3.1 conexión del cilindro

Cada cilindro Festo cuenta con puertos roscados **G 1/8**, los cuales corresponden a una **rosca cilíndrica BSPP (British Standard Pipe Parallel)**, comúnmente utilizada en neumática industrial por garantizar una conexión mediante sello o junta tórica. Para esta aplicación se recomienda el uso de un **racor en codo G 1/8 a manguera de Ø 4 mm**, vea **ilustración 57** lo que facilita el direccionamiento de la línea y evita esfuerzos innecesarios sobre la manguera.



Ilustración 57 cilindro con conexiones tipo y líneas de aire

A cada racor se le conecta una **manguera neumática Festo de Ø 4 mm**, la cual conduce el aire comprimido desde el cilindro hasta la válvula direccional correspondiente. Estas líneas deben colocarse de manera ordenada, evitando radios de curvatura cerrados y posibles puntos de fricción.

7.3.2 conexión de la válvula de dirección

Las mangueras provenientes de los cilindros se conectan a la **válvula direccional VUWG-L10-M52-M-M5**, vea la **ilustración 58** la cual es una válvula **5/2**. Para garantizar el funcionamiento correcto del sistema, las conexiones deben realizarse de forma que, en la **posición normal de la válvula**, el cilindro permanezca **extendido**, y al recibir la señal de pilotaje, la válvula cambie de posición permitiendo la **retracción del cilindro** la configuración se muestra en la **tabla 9**. Esto se logra conectando adecuadamente las líneas del cilindro a los puertos de trabajo de la válvula (puertos 2 y 4).



Ilustración 58 válvula VUWG-L10-M52-M-M5 con sus 4 conexiones

Puerto	Función
1	Alimentación de aire comprimido (P)
2	Salida de trabajo hacia una cámara del cilindro (A)
4	Salida de trabajo hacia la cámara opuesta del cilindro (B)
3	Escape del puerto 2
5	Escape del puerto 4
12 / 14	Puerto de pilotaje neumático (según configuración)

Tabla 9 Identificación y dirección de cada puerto del componente neumático. Fuente: Festo, documentación técnica del fabricante.

7.3.3 conexión de la válvula de control

El **pilotaje de la válvula direccional** se realiza mediante la **válvula de control K/O-3-PK-3** se aprecia en la **ilustración 59**, la cual envía una señal neumática que provoca el cambio de posición de la válvula VUWG. Cuando la válvula de control se acciona, permite el paso de aire hacia el puerto de pilotaje de la válvula direccional, forzando el desplazamiento del carrete interno y, con ello, la inversión del flujo de aire hacia el cilindro. Las conexiones se especifican en la tabla



Ilustración 59 válvula K/O-3-PK-3 que se usa como control de la válvula direccional

Puerto	Función
1	Entrada de aire comprimido
2	Salida de señal neumática hacia el pilotaje de la válvula 5/2
3	Escape de la válvula de control

Tabla 10 identificación y dirección de las conexiones de la válvula K/O-3-PK-3 . Fuente: Festo, documentación técnica del fabricante.

7.3.4 suministro de aire comprimido

La **alimentación de aire comprimido** del sistema se realiza mediante la conexión del **puerto 1 de la válvula direccional** y del **puerto de alimentación correspondiente de la válvula de control** a un **difusor de 24 tomas**. Este difusor permite distribuir el aire comprimido de manera uniforme hacia todas las válvulas del sistema, garantizando un suministro constante y equilibrado.

Cada una de las salidas del difusor se equipa con **racores tipo codo para manguera de 4 mm**, lo que asegura la compatibilidad con las líneas neumáticas empleadas y facilita el montaje en espacios reducidos. Las mangueras de alimentación se agrupan y fijan mediante **cinchos de plástico**, con el propósito de mantener un orden adecuado, evitar cruces innecesarios y reducir el riesgo de daños por fricción o vibración durante la operación.

Este mismo procedimiento de conexión se repite de forma sistemática para cada uno de los **doce conjuntos de cilindro y válvula**, logrando una configuración uniforme en todo el sistema. En la **Ilustración 60** se muestra el sistema completamente ensamblado, donde se aprecian los **doce porta cuchillas** junto con las líneas neumáticas necesarias para el suministro de aire comprimido a la totalidad del conjunto.

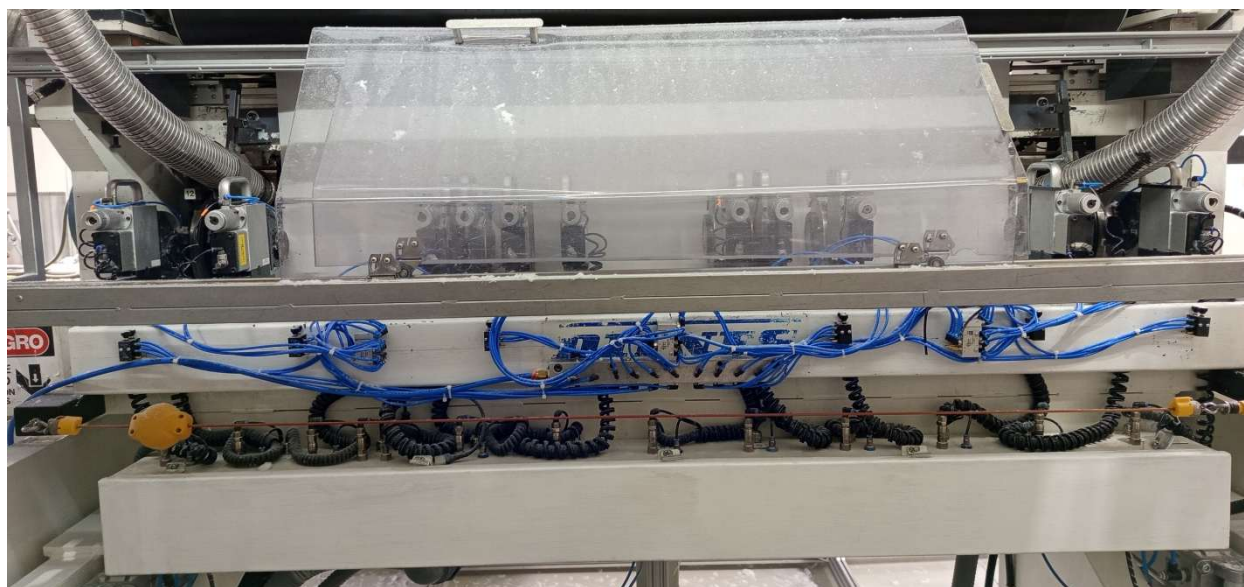


Ilustración 60 conexiones del distribuidor neumático a las válvulas y pistones

A su vez, el **distribuidor de aire** se encuentra conectado a un **regulador de presión modelo MS4-LR**, vea la **ilustración 61** el cual permite ajustar y mantener la presión de trabajo del sistema dentro de los valores requeridos. Este regulador está integrado a un **sistema de bloqueo de energía neumática**, cuya función es aislar el suministro de aire durante labores de mantenimiento o ajuste, garantizando condiciones seguras de intervención.

El sistema de bloqueo se conecta directamente a la **tubería de distribución de aire de instrumentación**, la cual ya se encontraba instalada previamente y abastece a los porta cuchillas **DF50-150**. Como se menciona en el **capítulo 2.7**, estos porta cuchillas cuentan con un mecanismo que permite **incrementar o reducir el contacto entre el yunque y la cuchilla**, lo que resulta fundamental para el control del proceso de corte.

Para la actualización del sistema de slitteer, se aprovechó tanto la **ramificación existente de la línea de aire** como el **dispositivo de bloqueo neumático**, lo que permitió integrar el nuevo sistema sin modificaciones mayores a la infraestructura neumática, optimizando recursos y reduciendo el tiempo de implementación.



Ilustración 61 filtro regulador, y dispositivo de bloqueo neumático que suministran aire al sistema

La modificación implementada en el sistema de porta cuchillas permitió la **integración de un nuevo sistema neumático de accionamiento**, cumpliendo con el objetivo principal de mejorar la funcionalidad y la flexibilidad operativa del equipo, sin afectar de manera significativa la estructura original de la máquina. El diseño se desarrolló bajo un criterio de **intervención mínima**, aprovechando las geometrías existentes y realizando únicamente los mecanizados estrictamente necesarios en las bases del porta cuchillas, lo que redujo tiempos de implementación y riesgos asociados a modificaciones mayores.

El procedimiento de desmontaje y ensamblaje fue planteado de forma **ordenada y sistemática**, lo que facilitó la instalación de los cilindros neumáticos y de los elementos de control, manteniendo la repetitividad del proceso en los doce conjuntos. La correcta selección de componentes neumáticos, como cilindros compactos, válvulas direccionales 5/2 y válvulas de control por pilotaje, permitió asegurar un **funcionamiento confiable y consistente**, alineado con los requerimientos operativos del sistema.

Desde el punto de vista neumático, la distribución del aire comprimido mediante un **difusor de 24 tomas**, alimentado desde el ramal de aire de instrumentación y regulado en presión, garantiza condiciones homogéneas de suministro para todas las válvulas y actuadores. Asimismo, el uso de mangueras y racores estandarizados contribuye a un montaje ordenado, facilita futuras labores de mantenimiento y reduce la probabilidad de fugas.

Finalmente, la modificación realizada sienta una **base sólida para la mejora continua del sistema**, ya que permite futuras adaptaciones, ajustes o ampliaciones sin requerir intervenciones invasivas en la máquina. En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que es posible implementar soluciones de automatización neumática eficientes, seguras y económicamente viables, alineadas con las necesidades operativas del proceso Coform y con buenas prácticas de ingeniería y mantenimiento industrial.

CAPITULO VaII. RECOLECCIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La presente sección tiene como objetivo **analizar el comportamiento operativo del sistema de slitter antes y después de la modificación implementada**, con el fin de evaluar su impacto en la reducción de tiempos muertos y en la confiabilidad del proceso. Para ello, se realizó una **recolección sistemática de datos históricos** a partir de las bitácoras de cambio de turno, las cuales son registradas por el equipo de mantenimiento como parte del control operativo de la máquina.

Durante el año 2025, estos registros permitieron identificar **eventos de paro no programado asociados al sistema de accionamiento eléctrico original**, particularmente relacionados con atascamientos que impedían el funcionamiento correcto de las cuchillas y, en consecuencia, la puesta en marcha del sistema. Dichos eventos generaron interrupciones directas en la producción, afectando la disponibilidad del equipo y la eficiencia del proceso.

La información recopilada corresponde a fechas específicas y duraciones de paro claramente documentadas, lo que proporciona una **base objetiva y verificable** para el análisis. Estos datos representan el **escenario previo a la modificación**, y funcionan como referencia para comparar el desempeño del sistema tras la implementación del nuevo sistema neumático.

El análisis de los resultados se orienta a **cuantificar la frecuencia y duración de los tiempos muertos**, identificar patrones de falla recurrentes y evaluar si la modificación realizada contribuye a una mejora medible en la continuidad operativa del sistema. De esta manera, la sección no solo presenta datos, sino que los interpreta desde un enfoque de **ingeniería de mantenimiento y mejora continua**.

8.1 Metodología de recolección de datos y análisis de resultados

La presente investigación se desarrolla bajo un **enfoque cuantitativo–descriptivo**, con un diseño **no experimental y longitudinal**, debido a que se analizan datos históricos reales obtenidos de registros operativos sin manipular deliberadamente las variables del sistema. El estudio se apoya en información recopilada a lo largo del tiempo, lo que permite evaluar el comportamiento del sistema de slitter antes de la implementación de la modificación y establecer una línea base para su comparación posterior.

Este enfoque es adecuado para analizar el impacto operativo de los tiempos muertos, así como para cuantificar pérdidas de producción asociadas a fallas del sistema.

8.2 Fuente de información

La recolección de datos se realizó a partir de **fuentes primarias de información**, directamente vinculadas a la operación y mantenimiento del área de Coform, lo que garantiza la confiabilidad y representatividad de los datos analizados.

En primer lugar, se utilizaron las **bitácoras de cambio de turno**, las cuales son llenadas por el personal de operación y mantenimiento al finalizar cada turno de **8 horas**. En estos registros se documentan de manera sistemática las actividades realizadas durante el turno, incluyendo intervenciones correctivas, mantenimientos predictivos, incidencias operativas y observaciones relevantes sobre el comportamiento de la máquina. Este tipo de registro permite dar seguimiento continuo al estado del equipo y constituye una herramienta fundamental para el análisis histórico de fallas y desviaciones operativas (ISO 14224).

Adicionalmente, se analizaron los **registros de paros de máquina**, correspondientes a las **órdenes de trabajo** generadas para la atención del sistema de slitter y, en particular, de los porta cuchillas. Estos formatos incluyen información clave como la fecha de intervención, el personal responsable, la duración del paro y las desviaciones detectadas durante la inspección o el mantenimiento. Dichos registros permiten identificar tendencias de desgaste en los componentes, así como evaluar la frecuencia y recurrencia de fallas asociadas al sistema (Mobley, 2002).

El análisis conjunto de las bitácoras de turno y las órdenes de trabajo proporciona una visión integral del desempeño real de la máquina bajo condiciones normales de operación industrial. Esta metodología de recolección de datos basada en registros operativos históricos es ampliamente utilizada en mantenimiento industrial, ya que permite evaluar la confiabilidad del equipo, identificar patrones de falla y establecer indicadores de desempeño sin alterar el proceso productivo.

8.3 Periodo de análisis

El periodo considerado para el análisis comprende del **1 de enero al 11 septiembre de 2025**, intervalo que corresponde a la operación del sistema de slitter con el **accionamiento eléctrico original**, previo a la implementación de la modificación. El análisis de este periodo permite identificar patrones de falla, frecuencia de paros, tiempos muertos y su impacto directo en la producción, estableciendo así una **línea base** del desempeño del sistema bajo su configuración original.

Asimismo, se definió un segundo periodo de análisis que abarca del **1 de septiembre al 27 de diciembre de 2025**, correspondiente a la operación del sistema **posterior a la actualización**

realizada. La comparación entre ambos periodos permite evaluar de manera objetiva el efecto de la modificación implementada, analizando la variación en la frecuencia de paros, la duración de los tiempos muertos y la producción no realizada, lo que proporciona un sustento cuantitativo para determinar la efectividad de la mejora aplicada.

8.4 Clasificación de los paros de máquina

Con el fin de estructurar el análisis y facilitar la interpretación de los resultados, los eventos registrados se clasificaron en **tres categorías principales**, de acuerdo con su causa y su impacto en la operación del sistema de slitter

8.4.1 Atascamientos en los motores.

Este tipo de paro ocurre principalmente debido a la acumulación de polvo apelmazado en los mecanismos de desplazamiento. Dicha acumulación incrementa la fricción, provocando que los motores no puedan desplazarse correctamente mediante su propio accionamiento, lo que genera la detención del sistema.

8.4.2 Fallos para restablecer el proceso.

Estos paros están asociados al uso de motores a pasos en el sistema original. Cuando los motores son desplazados de manera manual o forzada, el programa de control no reconoce el desplazamiento real, aun cuando el componente se encuentre físicamente en la posición correcta. Esta condición genera inconsistencias entre la posición real y la registrada por el sistema, dificultando el restablecimiento del proceso, ya que es necesario que los slitter (cuchilla y yunque) se encuentren exactamente en su posición de referencia.

8.4.3 revisión general

En esta categoría se incluyen los paros generados cuando el sistema no permite el arranque debido a una posición incorrecta de las cuchillas o del yunque, así como los contratiempos ocasionados durante los cambios de cuchilla o yunque derivados de la pérdida de filo. Estas situaciones generan tiempos muertos adicionales antes de restablecer la producción.

8.5 Variables de estudio

La definición de las variables de estudio es necesaria para **estructurar el proceso de recolección y análisis de datos**, garantizar la consistencia de la información registrada y permitir una evaluación objetiva del impacto de los paros de máquina en el sistema de slitter. Estas variables fueron seleccionadas con el propósito de **caracterizar cada evento de manera uniforme**, facilitar su comparación a lo largo del tiempo y cuantificar tanto su frecuencia como su efecto directo sobre la producción.

Asimismo, el uso de variables claramente definidas permite transformar los registros operativos de las bitácoras y órdenes de trabajo en **información medible y analizable**, lo cual es indispensable para la generación de indicadores de desempeño y para la comparación entre el periodo previo y posterior a la modificación del sistema.

Para el desarrollo del análisis se consideraron las siguientes variables de estudio:

- **Fecha del evento:** corresponde al día en que se presentó el paro de máquina, y permite ubicar temporalmente cada incidencia dentro del periodo de análisis.
- **Tipo de paro:** clasifica el evento de acuerdo con su causa principal, conforme a la tipología definida para el sistema de slitter, facilitando la identificación de patrones de falla y la comparación entre distintos tipos de eventos.
- **Duración del paro (min):** representa el tiempo total, expresado en minutos, durante el cual la máquina permaneció detenida a causa del evento registrado. Esta variable es fundamental para cuantificar el impacto operativo de cada paro.
- **Producción no realizada (m²):** Esta variable representa la cantidad estimada de material que dejó de producirse como consecuencia directa de un paro del sistema. Su cálculo se basa en el tiempo de detención registrado y en la velocidad promedio de producción del proceso, lo que permite cuantificar de manera objetiva el impacto de los paros sobre la productividad del slitter.

Durante la operación normal del sistema de slitter se identificaron tres corridas de producción como las más frecuentes, las cuales difieren principalmente en el **gramaje del material procesado** y, en consecuencia, en la **velocidad de línea**. Las velocidades típicas registradas para estas corridas son 155 m/min para material de 85 g/m², 317 m/min para material de 75 g/m² y 397 m/min para material de 70 g/m², siendo la velocidad más baja correspondiente al material de mayor espesor, debido a las limitaciones operativas y de estabilidad del proceso.

Debido a que las bitácoras históricas y los registros de paros no permiten asociar de manera directa cada evento de paro con el tipo de corrida activa en ese momento, no es posible calcular con precisión la producción no realizada para cada incidencia específica. Ante esta limitación, y con el objetivo de mantener un análisis consistente y metodológicamente válido, se optó por utilizar una **velocidad promedio de producción**, obtenida a partir de las tres corridas más comunes del proceso. Este enfoque es aceptado en estudios de mantenimiento y análisis de desempeño industrial cuando no existe trazabilidad completa de las condiciones de operación, ya que permite estimar el impacto productivo de los paros sin introducir suposiciones no documentadas (Mobley, 2002; Smith & Hawkins, 2004).

El cálculo de la velocidad promedio de referencia se realizó mediante la siguiente expresión:

- Corrida de 85 g/m²: 155 m/min
- Corrida de 75 g/m²: 317 m/min
- Corrida de 70 g/m²: 397 m/min

$$(155 + 317 + 397) \div 3 = 289.67 \text{ m/min}$$

Este valor se adopta como **velocidad promedio de producción** para el cálculo de la producción no realizada durante cada evento de paro. Su utilización permite mantener uniformidad en el tratamiento de los datos, facilitar la comparación entre eventos y asegurar la coherencia del análisis entre el periodo previo y el posterior a la modificación del sistema. De esta forma, la variable *producción no realizada (m²)* se consolida como un indicador cuantitativo clave para evaluar el impacto real de los paros en términos de pérdida de capacidad productiva y eficiencia operativa.

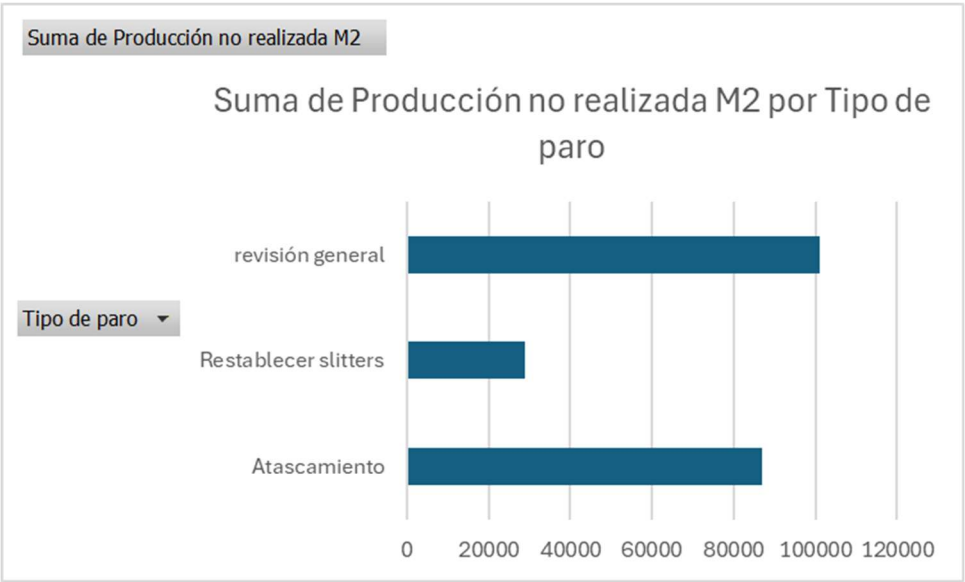
8.7 Resultados del periodo previo a la actualización

Durante el periodo analizado se registraron un total de **21 eventos de paro** asociados al sistema de slitter las fechas y clasificación se muestran en la **tabla 11**. La duración acumulada de estos paros fue de **456 minutos**, lo que representa un tiempo promedio de **26.5 minutos por evento** observan en la **gráfica 2** donde se muestra del lado derecho, en naranja la producción no realizada en m² y en azul la duración de cada paro en minutos .

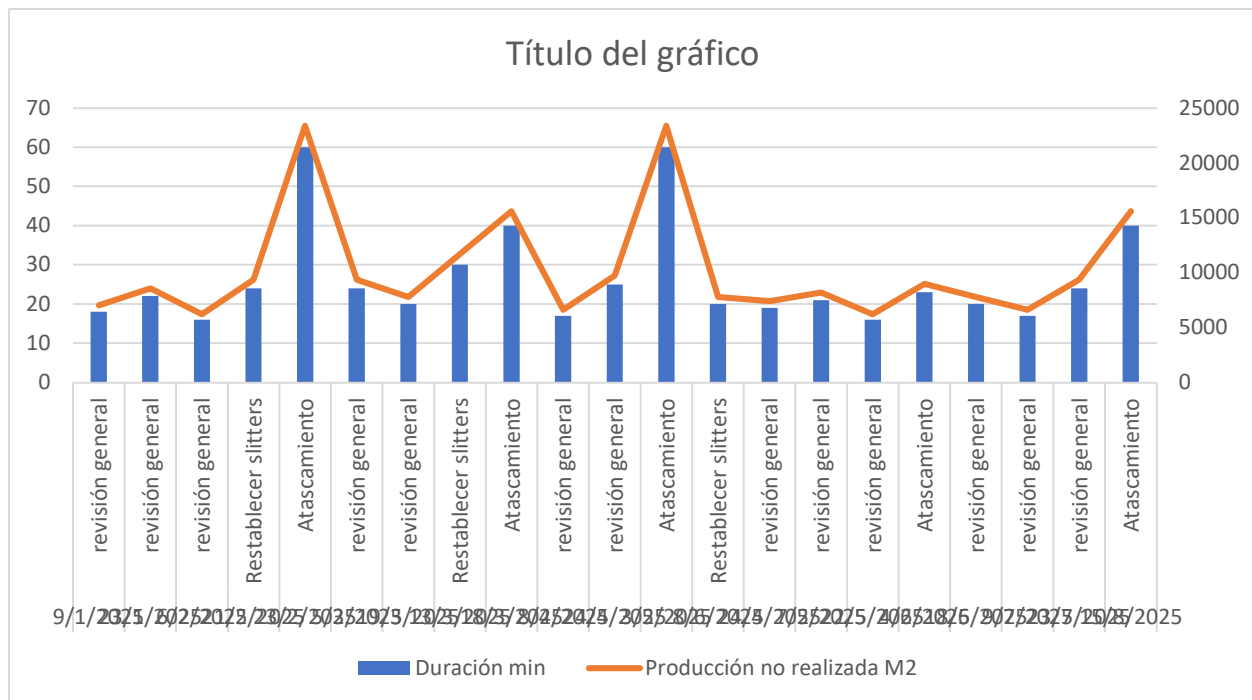
Fecha	Tipo de paro	Duración min	Producción no realizada M2
9/1/2025	revisión general	18	7014.06
23/1/2025	revisión general	22	8572.74
6/2/2025	revisión general	16	6234.72
21/2/2025	Restablecer slitters	24	9352.08
23/2/2025	Atascamiento	60	23380.2
5/3/2025	revisión general	24	9352.08
19/3/2025	revisión general	20	7793.4
13/3/2025	Restablecer slitters	30	11690.1
18/3/2025	Atascamiento	40	15586.8
8/4/2025	revisión general	17	6624.39
24/4/2025	revisión general	25	9741.75
3/5/2025	Atascamiento	60	23380.2
8/6/2025	Restablecer slitters	20	7793.4

24/4/2025	revisión general	19	7403.73
7/5/2025	revisión general	21	8183.07
22/5/2025	revisión general	16	6234.72
4/6/2025	Atascamiento	23	8962.41
18/6/2025	revisión general	20	7793.4
9/7/2025	revisión general	17	6624.39
23/7/2025	revisión general	24	9352.08
15/8/2025	Atascamiento	40	15586.8

Tabla 11 conteo de paros antes de la actualización



grafica 1 coform no producido en m2 por tipo de paro



grafica 2 tipo de paro, duración y material no fabricado

Para estimar el impacto productivo de estos paros, se utilizó la **velocidad promedio de producción** previamente definida de **289.67 m/min**, obtenida a partir de las corridas más frecuentes del proceso. Con base en este criterio, se calculó una **producción total no realizada de 216,656.5 m²** durante el periodo previo a la actualización del sistema. En la **Gráfica 1** se muestra la agrupación de los eventos según los **tres tipos de paro**, conforme a la clasificación descrita en el **capítulo 8.4**.

El uso de una velocidad promedio de referencia constituye un enfoque aceptado cuando no existe trazabilidad directa entre cada evento de paro y las condiciones específicas de operación, ya que permite obtener **estimaciones consistentes y comparables del impacto productivo** (Smith & Hawkins, 2004).

Del total de eventos registrados, **el 61.9 % correspondió a paros por revisión general (mantenimiento correctivo)**, **el 14.3 % a paros para restablecer el sistema de slitter**, y **el 23.8 % a eventos de atascamiento**. Sin embargo, el análisis de la duración y del impacto productivo evidencia que los **atascamientos**, a pesar de ser menos frecuentes, generan los **mayores tiempos muertos individuales**, con duraciones de hasta **60 minutos** y pérdidas superiores a **23,000 m² por evento**.

Este comportamiento indica que los atascamientos constituyen un **modo de falla crítico**, ya que afectan directamente la capacidad de arranque del sistema y requieren intervenciones más

prolongadas para su corrección. De acuerdo con la literatura de mantenimiento industrial, este tipo de fallas de **alta severidad y baja frecuencia** suele justificar la implementación de **mejoras de diseño orientadas a eliminar la causa raíz del problema**, en lugar de limitarse a acciones correctivas repetitivas (Mobley, 2002; Smith & Hawkins, 2004)

8.8 Análisis de datos después de la actualización

Los datos correspondientes al periodo comprendido entre el **11 de septiembre y el 30 de diciembre** fueron recolectados a partir de las **bitácoras de operación y mantenimiento del sistema**, al igual que en la primera etapa del estudio. Esta decisión metodológica se tomó con el propósito de **garantizar la compatibilidad y comparabilidad de la información**, evitando introducir variaciones derivadas del uso de fuentes o criterios de registro distintos.

8.8.1 Recolección y adecuación de datos en la segunda etapa del estudio

No obstante, debido a la **modificación del sistema de posicionamiento del slider**, algunos componentes mecánicos y neumáticos fueron sustituidos o incorporados, lo que hizo necesario **ajustar la interpretación de ciertas categorías de paro**, sin alterar su estructura general. De esta manera, se preserva la continuidad del análisis y se asegura que las diferencias observadas entre ambos periodos puedan atribuirse principalmente a la actualización del sistema.

8.8.2 Adecuación de las categorías de paro tras la modificación

Atascamientos en los motores

En esta categoría se incluyen los eventos registrados en la bitácora relacionados originalmente con **atascamientos de los motores a pasos** encargados del posicionamiento de los yunques. Para el periodo posterior a la modificación, esta categoría se amplía para incorporar **fallas directas del cilindro neumático**, así como **fallas en cualquiera de las líneas neumáticas asociadas** al sistema de desplazamiento.

Esta integración es metodológicamente válida, ya que tanto los motores a pasos del sistema original como los actuadores neumáticos del sistema modificado cumplen la **misma función operacional**: el desplazamiento y posicionamiento de los yunques. Por lo tanto, cualquier evento que impida dicho movimiento tiene un impacto equivalente sobre la disponibilidad y continuidad del proceso.

Fallos para restablecer el proceso

En el sistema modificado, el **programa de control permanece activo** y continúa siendo el encargado de gestionar la posición de los yunques. Sin embargo, a diferencia del sistema original, el accionamiento mecánico principal ya no depende exclusivamente de motores a pasos.

En esta categoría se agrupan los paros en los que, aun cuando el programa de control se encuentra operativo, el sistema no logra restablecer el proceso de manera inmediata debido a desajustes entre la lógica de control y la condición física de los componentes, o por requerimientos de intervención manual para reestablecer las condiciones iniciales de operación. Esta categoría permite evaluar la efectividad del nuevo sistema para recuperar la operación tras un paro, manteniendo el enfoque en la interacción entre control y elementos de accionamiento.

Revisión general

Esta categoría se mantiene **sin modificaciones** respecto a la primera etapa del estudio. Incluye los paros generados cuando el sistema no permite el arranque debido a una posición incorrecta de las cuchillas o del yunque, así como los contratiempos ocasionados durante los cambios de cuchilla o yunque derivados de la pérdida de filo. Estos eventos continúan generando tiempos muertos adicionales antes de restablecer la producción y su análisis resulta fundamental para evaluar si la modificación del slitter tiene un efecto indirecto en la reducción de errores de posicionamiento durante el arranque o durante las actividades de mantenimiento operativo.

8.9 resultados del periodo después de la modificación

Durante el periodo posterior a la actualización del sistema de slitter se registraron un total de **12 eventos de paro**, cuyas fechas, clasificación y duración se presentan en la **Tabla 12**. La **duración acumulada** de estos paros fue de **215 minutos**, lo que representa un **tiempo promedio de 17.9 minutos por evento**, evidenciando una reducción significativa en comparación con el periodo previo.

Para estimar el impacto productivo de estos paros, se utilizó la misma **velocidad promedio de producción de 289.67 m/min**, con el objetivo de mantener criterios homogéneos de comparación. Con base en este valor, se obtuvo una **producción total no realizada de aproximadamente 61,279 m²**, atribuible a los eventos de paro ocurridos después de la implementación de la modificación.

Fecha	Tipo de paro	Duración (min)	Producción no realizada (m ²)
10/11/2025	Revisión general	12	3476.04
25/11/2025	Revisión general	14	4055.38
10/11/2025	Restablecer slitte	20	5793.40
05/12/2025	Revisión general	15	4345.05
07/12/2025	Revisión general	10	2896.70
07/12/2025	Atascamiento yunque	25	7241.75
07/12/2025	Restablecer slitte	20	5793.40
08/12/2025	Restablecer slitte	30	8690.10
09/12/2025	Atascamiento yunque	30	8690.10
09/12/2025	Restablecer slitte	15	4345.05
10/12/2025	Revisión general	13	3765.71
20/12/2025	Revisión general	11	3186.37

Tabla 12 resultados después de la modificación

Del total de eventos registrados, el **50 % correspondió a revisiones generales y cambios de cuchilla**, el **33.3 % a paros para restablecer el sistema**, y el **16.7 % a eventos de atascamiento del yunque**. A diferencia del periodo previo, se observa una **reducción considerable en la frecuencia y severidad de los atascamientos**, los cuales anteriormente representaban el principal modo de falla crítica.

Asimismo, los tiempos de intervención asociados a los cambios de cuchilla se mantienen dentro de un rango reducido, entre **10 y 15 minutos**, lo cual indica que la nueva configuración del sistema permite realizar ajustes de manera más rápida, segura y controlada.

Este comportamiento refleja una **mejora clara en la estabilidad operativa del sistema**, una mayor facilidad para los ajustes y una disminución importante de las fallas que provocaban paros prolongados.

8.10 Comparación antes vs después de la modificación

El análisis comparativo evidencia que, tras la actualización del sistema de slitte, se logró una **reducción del 42.9 % en la cantidad de eventos de paro**, así como una **disminución del 61.3 % en el tiempo total de detención** de la máquina como se muestra en la **tabla 13**.

No obstante, el indicador más relevante corresponde a la **producción no realizada**, la cual presentó una **reducción del 71.7 %**, al pasar de **216,656.5 m²** antes de la modificación a **61,279 m²** después de la intervención. Esta mejora sustancial confirma que la actualización no solo redujo la frecuencia de los paros, sino que también **mitigó su impacto productivo**, especialmente al disminuir los eventos de alta severidad, como los atascamientos del sistema.

La disminución en la severidad de los paros demuestra que el nuevo sistema neumático de posicionamiento del slitter proporciona **mayor confiabilidad operativa**, reduce la probabilidad de fallas mecánicas críticas y facilita las tareas de ajuste y mantenimiento.

Concepto	Antes	Después	Mejora
Número de eventos	21	12	↓ 42.9 %
Tiempo total de paro (min)	556	215	↓ 61.3 %
Tiempo promedio por evento (min)	26.5	17.9	↓ 32.5 %
Producción no realizada (m²)	216,656.5	61,279	↓ 71.7 %

Tabla 13 comparación de resultados antes y después

Conclusión

La actualización del sistema de slitter permitió obtener **mejoras significativas en la disponibilidad operativa del equipo y en la eficiencia productiva del proceso**. La **reducción del 71.7 % en la producción no realizada** constituye un indicador cuantitativo contundente del impacto positivo del rediseño implementado, evidenciando una disminución de los tiempos muertos asociados al sistema de corte.

Los resultados confirman que la **sustitución del sistema de posicionamiento eléctrico por un sistema neumático más simple y robusto** contribuyó directamente a la reducción de paros prolongados, en particular aquellos derivados de **atascamientos del yunque** y de **fallas durante el restablecimiento del sistema**. Esta mejora se refleja en una operación más estable, con interrupciones más cortas y predecibles, alineadas principalmente a actividades programadas como el cambio de cuchillas.

Desde el punto de vista productivo, la disminución de los tiempos muertos se traduce en un **incremento efectivo de la capacidad de producción**, al facilitar los ajustes operativos, mejorar el aprovechamiento del tiempo disponible y reducir las pérdidas asociadas a paros no planificados. En consecuencia, la modificación realizada se justifica plenamente desde los ámbitos **técnico, operativo y productivo**, consolidándose como una **solución efectiva y sostenible** dentro de la estrategia de mejora continua del sistema de slitter.

Evaluación del cumplimiento de objetivos Incrementar la eficiencia operativa de la línea de producción de material Coform en la planta Tlaxcala de Kimberly-Clark de México, mediante la sustitución del sistema de posicionamiento eléctrico del slitter por un sistema neumático que reduzca los tiempos muertos ocasionados por atascamientos y mantenimiento correctivo. **Objetivo cumplido.** La reducción superior al **70 % en la producción no realizada**, junto con la disminución del número y duración de los paros, demuestra que la eficiencia operativa del sistema fue incrementada de manera significativa, logrando una operación más continua, confiable y rentable.

Objetivos específicos

Diseñar y adaptar un sistema de control neumático manual,

basado en el principio de ajuste de posición del sistema utilizado en la segunda máquina Coform, que permitiera el ajuste de posición preciso de los porta cuchillas sin depender de componentes eléctricos sensibles al polvo. **Objetivo cumplido.** El sistema neumático implementado replica un principio de ajuste de posición y bloqueo de posición probado, eliminando elementos eléctricos críticos y mejorando la confiabilidad del ajuste de los porta cuchillas en un entorno industrial con presencia de polvo.

Implementar e instalar el nuevo sistema neumático en un periodo estimado de 18 semanas, asegurando su correcta integración con los mecanismos existentes y el cumplimiento de los estándares de seguridad industrial. **Objetivo cumplido.** La instalación se realizó aprovechando la infraestructura neumática existente, integrando dispositivos de regulación y bloqueo de energía, y manteniendo condiciones seguras para operación y mantenimiento. el proceso desde la recolección de información al análisis de eficiencia fue realizado durante el periodo de 18 semanas que duro las residencias profesionales

Evaluar el desempeño del nuevo sistema, midiendo la reducción porcentual del tiempo de ajuste y de los paros por mantenimiento, para validar su impacto en la eficiencia global del proceso. **Objetivo cumplido.** El análisis comparativo antes y después de la modificación evidencia reducciones significativas en los tiempos de paro, así como en el impacto productivo asociado, validando de manera objetiva la efectividad del nuevo sistema.

Con base en los resultados obtenidos y en el cumplimiento de los objetivos planteados, se concluye que la actualización del sistema de slitter representa una **mejora integral del proceso**, al atacar directamente los modos de falla críticos y fortalecer la confiabilidad operativa del equipo. La solución implementada no solo resuelve problemáticas existentes, sino que establece una base sólida para la **estandarización del sistema** y futuras mejoras en la línea de producción de material Coform.

COMPETENCIAS DESARROLLADAS

Durante el periodo de residencias profesionales en **Kimberly-Clark**, se desarrollaron y fortalecieron diversas **competencias técnicas, operativas y de seguridad industrial** mediante la participación activa en actividades de mantenimiento preventivo y correctivo. Entre las principales tareas realizadas se encuentran el **cambio de poleas y bandas**, la **toma de lecturas operativas**, así como trabajos mecánicos básicos como **maquinado ligero y roscado (tarrajeado)**, principalmente para la **rectificación de tornillos o roscas**, además de ajustes de componentes. Estas actividades permitieron adquirir **destreza manual, criterio técnico** y una mejor **comprensión del funcionamiento mecánico de los equipos industriales**.

Adicionalmente, se participó en la **ejecución de OTS y RI**, siguiendo las **instrucciones de trabajos rutinarios** establecidas por el **equipo de ingeniería**, lo que contribuyó al desarrollo de la disciplina operativa, el trabajo bajo procedimientos estandarizados y el cumplimiento de lineamientos internos de la planta.

Asimismo, se participó en el **llenado y control de bitácoras de preuso de equipos**, tales como **polipastos y hornos**, desarrollando la competencia de **documentación técnica** y seguimiento de condiciones operativas. Esta actividad permitió comprender la importancia de la **inspección previa** para garantizar **condiciones seguras de operación**, prevenir fallas y **prolongar la vida útil de los equipos**. Dentro de este contexto, uno de los aprendizajes más relevantes fue la correcta aplicación de los **procedimientos de bloqueo y desenergización de equipos (LOTO)**, competencia fundamental para la seguridad del personal de mantenimiento y el cumplimiento de los lineamientos de seguridad industrial.

De igual manera, se fortaleció la **cultura de seguridad industrial**, adoptando como práctica constante el **análisis de riesgos antes de iniciar cualquier actividad**. Esta competencia permitió identificar peligros potenciales, evaluar las condiciones del entorno de trabajo y aplicar medidas preventivas, contribuyendo tanto al **cuidado personal** como a la **prevención de accidentes** durante la ejecución de tareas de mantenimiento.

Otro aspecto significativo fue el **manejo adecuado de herramientas**. Durante las prácticas se asignó un **carro de herramientas**, lo que permitió conocer, identificar y utilizar una amplia variedad de **herramientas manuales y de medición**, comprendiendo sus **usos específicos**, su correcta selección según la tarea y la **diferencia entre herramientas con medidas estándar y sistema ISO (métrico)**. Esta competencia mejoró la **eficiencia, precisión y calidad** de los trabajos realizados.

En el ámbito **eléctrico y mecánico**, se pusieron en práctica los conocimientos adquiridos durante la carrera, tales como la **realización de pruebas de continuidad**, la **verificación del estado de las bobinas en motores eléctricos trifásicos**, el **torque de equipos críticos** y la **medición de**

componentes mediante vernier, asegurando el cumplimiento de las **especificaciones técnicas** y la **confiabilidad de los sistemas intervenidos**.

Bibliografía

Banner Engineering Corp. (2021). *Emergency stop rope pull switches – XS series*.

<https://www.bannerengineering.com>

Bolton, W. (2015). *Pneumatic and hydraulic systems*. Butterworth-Heinemann.

Bosch Rexroth AG. (2019). *Linear motion technology: Technical handbook – Linear guides and bearings*. Bosch Rexroth AG.

Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Thermodynamics: An engineering approach* (8th ed.). McGraw-Hill Education.

Esposito, A. (2014). *Fluid power with applications* (7th ed.). Pearson Education.

Festo Didactic. (2011). *Fundamentos de la neumática* (3.ª ed.). Festo Didactic GmbH & Co. KG.

Festo Didactic. (2021). *Fundamentos de neumática industrial*. Festo Didactic SE.

Festo Didactic SE. (2023). *Fundamentos de la neumática industrial*. Festo Didactic.

Festo SE & Co. KG. (2020). *Regulador de presión neumático K/O-3-PK-3: Hoja de datos técnicos*. Festo.

Festo SE & Co. KG. (2022). *Cilindros neumáticos compactos ADNGF: Manual técnico*. Festo.

Festo SE & Co. KG. (2023). *Válvulas direccionales VUVG: Datos técnicos y aplicaciones*. Festo.

Festo SE & Co. KG. (s.f.). *Compact cylinder ADNGF-32-5-P-A: Data sheet* (Part no. 554238).

<https://ftp.festo.com>

Festo SE & Co. KG. (s.f.). *Compact cylinders ADNGF: Standard hole pattern*.

<https://www.festo.com>

Fife Corporation. (2020). *Web guiding systems: Technical guide*. Maxcess International.

<https://www.maxcessintl.com>

Fife Engineering (Maxcess). (2020). *Web guiding and slitting systems overview*. Maxcess International.

García, L., & Patiño, J. (2019). *Principios de manejo de materiales en procesos continuos*. Editorial Limusa.

Haydon Kerk Pittman. (s.f.). *Size 23 hybrid linear stepper actuators*.
<https://www.haydonkerkpittman.com>

International Electrotechnical Commission. (2016). *IEC 60947-5-5: Low-voltage switchgear and controlgear – Electrical emergency stop device with mechanical latching function*. IEC.

International Organization for Standardization. (2010). *ISO 4414: Pneumatic fluid power — General rules and safety requirements for systems and their components*. ISO.

International Organization for Standardization. (2015). *ISO 13850: Safety of machinery — Emergency stop function — Principles for design*. ISO.

International Organization for Standardization. (2016). *ISO 14224: Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. ISO.

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 15552: Pneumatic fluid power — Cylinders with removable mountings*. ISO.

Kimberly-Clark de México. (s.f.). *Historia de Kimberly-Clark México*. <https://www.kimberly-clark.com.mx/conoce-kcm/historia>

Kumar, S., & Singh, R. (2021). Web handling and tension control in converting processes. *International Journal of Manufacturing Engineering*, 45(3), 112–128.

Majumdar, S. R. (1996). *Pneumatic systems: Principles and maintenance*. McGraw-Hill.

Maxcess International. (2018). *Principles of web guiding and web handling*.
<https://www.maxcessintl.com>

Maxcess International. (2020). *Tidland performance series knifeholders: Technical data sheet*.
<https://www.maxcessintl.com>

Maxcess/Tidland. (2016). *Slitting solutions: Manual knifeholder performance series*. Maxcess International.

Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

Parker Hannifin Corporation. (2021). *Pneumatic systems and components for industrial automation*. Parker Technical Library.

Roisum, D. (2014). *Web handling handbook*. TAPPI Press.

Schmersal, K. A. (2022). *Safety switch with separate actuator: Technical data sheet*.
<https://products.schmersal.com>

Schmersal, K. A. (2023). *Solenoid interlocks AZM/MZM series: Product information*.
<https://products.schmersal.com>

Schneider Electric SE. (2023). *Emergency stop rope pull switches: Application guide*.
<https://www.se.com>

Smith, A., & Jordan, P. (2020). Design and operation of roller systems for continuous processing. *Journal of Industrial Automation*, 12(4), 55–70.

Smith, R., & Crouse, J. (2018). *Principles of web handling and slitting technology*. TAPPI Press.

Smith, R., & Hawkins, B. (2004). *Lean maintenance: Reduce costs, improve quality, and increase market share*. Elsevier Butterworth-Heinemann.

SMC Corporation. (2020). *Pneumatic system components and manifolds catalog*. SMC Corporation.