Ingeniería del Enconado y Bobinado Textil

Marco Francisco Naranjo Toro
Valeria Verónica Chugá Chamorro
Omar Vinicio Godoy Collaguazo



Ingeniería del Enconado y Bobinado Textil

Ingeniería del Enconado y Bobinado Textil

Marco Francisco Naranjo Toro

Valeria Verónica Chugá Chamorro

Omar Vinicio Godoy Collaguazo

EDITORIAL UTN
IBARRA - ECUADOR

Edita
Editorial Universidad Técnica del Norte
Av. 17 de Julio, 5-21. Campus Los Olivos
IBARRA - IMBABURA - REPÚBLICA DEL ECUADOR
EOE www.utn.edu.ec
editorial@utn.edu.ec



Autores
Marco Naranjo Toro, MgS
Universidad Técnica del Norte, Ecuador
https://orcid.org/0000-0001-8249-3053
mfnaranjo@utn.edu.ec

Valeria Chugá Chamorro, MgS
Universidad Técnica del Norte, Ecuador
https://orcid.org/0000-0002-3403-6453
vvchuga@utn.edu.ec

Omar Godoy Collaguazo, MgS
Universidad Técnica del Norte, Ecuador
https://orcid.org/0000-0002-5833-9109
ovgodoy@utn.edu.ec

Pares revisores académicos externos
Sandra Karina Aduviri Chambi, MSc.
aduvirichsandra@gmail.com

Jonny Henrry Yampara Blanco, Ing.
jyampara@gmail.com

Revisión de estilo
Silvia Arciniega Hidrobo, M.Sc.
srarciniega@utn.edu.ec
Universidad Técnica del Norte

Dirección de arte y diagramación
Marco Naranjo Toro, MgS.
mfnaranjo@utn.edu.ec
Universidad Técnica del Norte, Ecuador

Créditos
ISBN: 978-9942-572-58-5
DOI: 10.53358/libfica/HLKV3873
ROR: https://ror.org/03f0t8b71

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra sin la previa autorización escrita de la Editorial Universidad Técnica del Norte.

Índice general

Índice general **8**
Índice de figuras 11

Prólogo **12**

1. Enconadora o Bobinadora, Generalidades y Clasificación **15**
1.1. Introducción 16
1.2. Descripción del Proceso de Bobinado 16
1.3. Clasificación y Tipos de Bobinadoras 17
1.3.1. Enconadoras Manuales 17
1.3.2. Enconadoras Semiautomáticas 18
1.3.3. Enconadoras Autométicas 19
1.4. Tipos de Bobinado 20
1.4.1. Bobinado Paralelo 21
1.4.2. Bobinado Cruzado 22

2. Proceso de Enconado Textil **27**
2.1. Tipos de Alimentación en el Proceso de Enconado Textil 28
2.1.1. Enconado de Bobina a Cono 28
2.1.2. Enconado de Cono a Cono 29
2.1.3. Enconado de Madeja a Cono 30
2.1.4. Semejanzas y Diferencias entre los Tres Sistemas de Alimentación . . . 31
2.2. Alimentación para Máquinas Bobinadoras 33
2.2.1. Transporte Interno de Bobinas 34
2.2.2. Entrada del Hilo al Huso de Enconado 34
2.3. Sistemas Rompe Balón en las Enconadoras Textiles 35
2.3.1. Principales Tipos y Sistemas de Rompe Balón 36
2.4. Sistemas de Tensión en las Enconadoras Textiles 39
2.4.1. Principales Tipos y Sistemas de Tensión en las Bobinadoras Textiles . . 40

3. Operaciones y Ajustes **46**
3.1. Parafinado de Hilos Textiles 47
3.1.1. Características de la Parafina Textil 47
3.1.2. Formas o Sistemas del Parafinado del Hilo 49
3.1.3. Formulaciones para el Cálculo del Consumo de Parafina 51
3.2. El Purgado 53
3.2.1. Clasificación de los Purgadores Según su Funcionamiento 56
3.2.2. Partes y Componentes Principales de un Purgador Textil 61
3.2.3. Utilización y Ajustes Mecánicos de Purgadores Textiles Según el Tipo de Fibra e Hilo 64
3.3. Sistemas de Unión de Hilos, Anudado, Empalme o Splicer 70
3.3.1. Anudado Textil Manual 71

4. El Cono Textil, Características y Parámetros Técnicos **81**
4.1. Cursa, Avance Axial o Paso Transversal del Hilo 82
4.1.1. Cálculo y Optimización de la Cursa 83
4.2. Conicidad, Forma Geométrica del Cono 84
4.2.1. Cálculo del Ángulo de Conicidad (α) 84
4.2.2. Ángulo de Cruce (θ) 85
4.2.3. Relación Funcional entre Cursa, Conicidad y Ángulo de Cruce 86
4.3. Cilindros Enrolladores de Hilo 87
4.3.1. Ángulos de Enrollado y Cruce 88
4.3.2. Enrollado Abierto 89
4.3.3. Enrollado Medio 89
4.3.4. Enrollado Cerrado 89
4.4. Materiales de los Cilindros 89
4.4.1. Acero Cromado 90
4.4.2. Aluminio Anodizado 90
4.4.3. Recubrimiento Cerámico o con Carburo 90
4.4.4. Recubrimiento de Caucho o Poliuretano 90
4.5. Medidas y Especificaciones 91
4.5.1. Longitud Útil del Cilindro 92
4.6. Tipos y Formas de Cilindros 93
4.6.1. Cilindros Lisos 93
4.6.2. Cilindros Ranurados 93
4.6.3. Cilindros con Doble Zona 94
4.6.4. Cilindros Especiales 94
4.7. Consideraciones Técnicas de Operación 95
4.8. Reserva de Hilo Textil en Conos 96
4.8.1. Procedimiento para realizar la reserva de hilo 96
4.8.2. La Importancia de la Reserva en la Eficiencia Productiva 97
4.9. Cambio Automático de Conos 98
4.9.1. Secuencia Mecánica de Cambio Automático de Conos 98
4.9.2. Componentes Técnicos Claves en el Cambio Automático de Conos . . 100
4.10. Conos Textiles 102
4.10.1. Tipos de Conos Textiles Según su Diseño 103
4.10.2. Materiales Utilizados en la Fabricación de Conos Textiles 105

5. Mantenimiento, Calidad y Prevención de Defectos en Máquinas Enconadoras Textiles **110**
5.1. Mantenimiento de Máquinas Enconadoras 111
5.1.1. Mantenimiento Preventivo 111
5.1.2. Mantenimiento Correctivo 112
5.1.3. Mantenimiento Predictivo 112
5.2. Control y Aseguramiento de la Calidad en Máquinas Enconadoras 113
5.3. Prevención de Defectos 114
5.4. Buenas Prácticas Adicionales 114
5.5. Eficiencia Energética y Costos Operativos en Enconadoras Modernas 115
5.6. Integración del Proceso de Enconado con Sistemas Manufacturing Execution Systems MES y Mantenimiento Predictivo. 116

A. ANEXO A: GUÍA DE EMPRESAS TEXTILES **117**
Introducción 118

Bibliografía **132**

Índice de figuras

1.1. Alimentación manual en máquina enconadora de bobina a cono. 19
1.2. Bobinado paralelo. 22
1.3. Bobinado cruzado. 24
2.1. Alimentación de bobina a cono. 29
2.2. Alimentación en máquina bobinadora de cono a cono. 30
2.3. Alimentación en máquina bobinadora de madeja a cono. 31
2.4. Sistema de alimentación manual. 32
2.5. Sistema de alimentación automática. 32
2.6. Diferentes tipos de Trails con variación de altura. 33
2.7. Sistema Antibalón. 37
2.8. Sistema tensor de hilo por medio de láminas. 39
2.9. Tensor de hilo mecánico. 41
2.10. Tensor electromagnético. 43
3.1. Parafinado de hilo con eje cuadrado. 50
3.2. Purgador electrónico con sensores ópticos. 58
3.3. Purgador multifuncional. 61
3.4. Curva de purgado textil. 69
3.5. Tensor de hilo, anudado y purgado. 70
3.6. Nudo del tejedor. 72
3.7. Nudo del pescador. 72
3.8. Splicer Neumático. 74
3.9. Splicer Neumático Térmico tipo GZ. 78
4.1. Características del cono. 82
4.2. Cilindro enrollador de acero cromado. 92
4.3. Cilindro ranurado con canales helicoidales. 94
4.4. Sistema de cambio automático de conos. 98
4.5. Diferentes formas, modelos y usos de conos textiles. 102
5.1. Diferentes bobinas y conos con material textil. 115

Prólogo

El conocimiento profundo de la maquinaria textil constituye un pilar esencial para el desarrollo de la industria de los hilos, tejidos y confecciones modernas. Las empresas fabricantes de equipos han ido definiendo su identidad a lo largo de más de doscientos años, pero no como meras proveedoras de tecnología, sino como verdaderos referentes de innovación, de productividad y de calidad en el mundo textil. Determinar cuáles son las principales marcas a nivel mundial, sus países de origen, definiendo sus líneas de especialización productiva, esto les permite comprender cómo se forma la cadena de valor textil y cuáles son las herramientas que fundamentan la competitividad del mundo.

En ese sentido, es fundamental poner de manifiesto el trabajo de las empresas europeas, asiáticas y americanas que han sido puntales en el desarrollo y en la fabricación de maquinaria textil, nombres como Savio (Italia), Murata (Japón), Schlafhorst (Alemania), SSM (Suiza), Rieter (Suiza), Lakshmi Machine Works - LMW (India), entre otros, son verdaderos estandartes del sector, cada uno de ellos con una trayectoria que siempre ha estado marcada por la mejora técnica y tecnológica pensando siempre en la automatización y en la calidad de los productos finales, la eficiencia energética, el control de la tensión, el control del purgado o la integración dentro del contexto de la Industria 4.0.

La publicación que se suele encontrar entre las obras seleccionadas se ocupa en exclusiva, este libro trata específicamente de enconadoras y bobinadoras textiles, sus características, y de todos los elementos que coadyuvan para tener un paquete de hilo con determinadas especificaciones técnicas y de calidad para evitarnos la mayor cantidad de paros en los procesos siguientes de tejido, urdido o cosido.

A lo largo de este texto se abordarán de manera detallada tanto las marcas y procedencias de las principales empresas fabricantes de maquinaria textil y sus líneas tecnológicas, como también las características funcionales, mecánicas y electrónicas de estos equipos. Asimismo, se analizarán sus aportes en campos como la automatización, los sistemas inteligentes de empalme (splicers), los controles electrónicos de tensión, los dispositivos de parafinado, la integración con sistemas de gestión digital de la producción (MES) y las innovaciones en sostenibilidad orientadas a la reducción de consumo energético y residuos.

En el libro no únicamente se trata de describir los elementos y funciones de la máquina enconadora textil, sino que pretende dar una visión holística y crítica de la importancia de los fabricantes en la evolución del proceso textil, de tal forma que los avances tecnológicos se resaltan, cabe señalar que las enconadoras textiles representa la respuesta a la necesidad de aumentar la producción, incrementar la eficiencia y mejorar la calidad, para lo que el libro no solamente servirá de documentación desde un punto de vista práctico, sino que permite incorporar a los profesionales del mundo textil un marco de carácter técnico y estratégico para la elección, el trabajo y el mantenimiento de la maquinaria teniendo en cuenta las fibras a procesar, los números de hilos y los procesos a seguir.

Este libro es un recurso académico y técnico indispensable que conecta el conocimiento sobre las marcas de fabricantes textiles a nivel global con la comprensión profunda de las enconadoras, situando a estos equipos como elementos clave en la competitividad de las empresas textiles contemporáneas.

Manifestamos nuestro más sincero y profundo agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte, institución que con generosidad y confianza nos ha permitido servir en calidad de docentes e investigadores dentro de su prestigiosa comunidad académica. Este libro no habría sido posible sin el respaldo y las oportunidades que hemos recibido en este espacio de formación superior, que día a día nos inspira a trabajar por la excelencia educativa y el desarrollo científico.

Hacemos extensivo nuestro reconocimiento a nuestras familias, quienes con paciencia, comprensión y entrega nos han apoyado de manera incondicional, brindándonos el tiempo y la fortaleza necesarios para culminar esta obra. Su acompañamiento ha sido un pilar fundamental que ha sostenido nuestro esfuerzo en medio de las exigencias propias de la docencia, la investigación y la escritura.

Un agradecimiento especial lo dirigimos a nuestros estudiantes de la Carrera de Textiles, quienes con su entusiasmo, compromiso y permanente búsqueda de conocimiento se constituyen en la razón de ser de nuestro trabajo académico. Sus preguntas, aportes y motivación han nutrido y orientado gran parte de la experiencia que hoy se refleja en este libro.

Finalmente, expresamos nuestro reconocimiento a todas las empresas textiles en las que hemos tenido la oportunidad de desempeñarnos a lo largo de los años, permitiéndonos adquirir experiencias y saberes que aquí se sistematizan. Cada página es el resultado de ese aprendizaje acumulado, de la práctica profesional y del compromiso con la industria textil nacional e internacional.

Entregamos esta obra con respeto y gratitud, convencidos de que constituye un aporte académico y técnico al estudio y comprensión de las enconadoras y bobinadoras textiles, y un testimonio de nuestro compromiso con la formación de las futuras generaciones de profesionales textiles.

Marco Francisco Naranjo Toro
Valeria Verónica Chugá Chamorro
Omar Vinicio Godoy Collaguazo

Capítulo 1

Enconadora o Bobinadora, Generalidades y Clasificación

1.1. Introducción

A lo largo de la historia textil, el enconado de hilo ha sido una de las operaciones más importantes, aunque muchas veces poco visibilizada, dentro de la cadena de producción. En épocas pasadas, este proceso era completamente manual. El encargado de la máquina debía alimentar a la máquina individualmente por bobinas; es decir, se tornaba en un trabajo demasiado manual, siendo muy vulnerable a fallas o equivocaciones involuntarias, por lo tanto se necesitaban operarios con mucha destreza y experiencia.

Las maneras de trabajo hoy en día, se han tornado totalmente automatizados, ya que son procesos en los cuales la mano del trabajador casi no interviene salvo en muy reducidas ocasiones, y bajo estas características los productos entregados son de mucha mejor calidad en todos los aspectos. Aspectos como el parafinado controlado, que mejora el rozamiento y la resistencia al atravesar las agujas; el purgado del hilo, que mediante sensores ópticos y cortadores automáticos elimina impurezas y neps; o el enrollamiento cruzado, que accidentalmente garantiza que el enconado le asegure una estructura estable y uniforme, son aspectos que forman parte constitutiva de un sistema que, con un alto grado de sofisticación, ha aprendido a trabajar a alta velocidad sin perder calidad.

Igualmente, el empalmado tipo splicer, que en otro contexto se consideraba una técnica productiva avanzada, hoy en día es uno de los tópicos productivos que marca la pauta. Los hilos acaban finalmente empalmándose sin nudos, con resistencia y continuidad suficiente para eliminar cortes y pausas en los procedimientos posteriores.

El presente capítulo tiene como objetivo desvelar el proceso de bobinado desde una lectura técnica y también moderna, pero sin desconsiderar su historia y su valor estratégico en la producción de la que deberían tener constancia los profesionales del sector que pretenden asegurar eficiencia, reducción de merma y una correcta obtención de un bien productivo de gran calidad.

1.2. Descripción del Proceso de Bobinado

La industria textil comprende una serie de procesos que permiten convertir la materia prima en un producto final. Durante estos procesos, se considera principalmente la consistencia de la cinta, la mecha e hilo, así como la calidad del resultado (Fuerte Villano & Ramos Chilingano, 2018).

El proceso de bobinado desempeña un papel fundamental que a menudo se pasa por alto. Este proceso no solo es crucial para la transformación de las bobinas de hilo que produce la hilatura a empaques de hilo totalmente controlado, sino que también establece las bases para la calidad y eficiencia de las etapas posteriores de producción, exploraremos la importancia del bobinado en la hilatura, un proceso que consiste en enrollar hilos en núcleos de formas y ángulos de conicidad diferentes, pero de manera controlada y precisa. Para los que dominan parcialmente el diseño de la producción, entender las variables del bobinado marca una apuesta clara en el resultado final. Debido a este proceso, la tensión del hilo, su uniformidad y el comportamiento del hilo en las fases de tejido, tintura y confección se ven alterados, identifica problemas como enredos, roturas y falsas tensiones, con el objetivo de lograr la productividad y la sostenibilidad en la producción textil; un buen bobinado.

El bobinado es el último paso de la hilatura. Su función es corregir los defectos del hilo a partir de un proceso de purgado y conseguir la longitud del hilo con un peso constante. Las características de un cono son el diámetro máximo que tiene la base, la cursa, la conicidad

o el ángulo de cruce; estas características se controlan mediante mecanismos electrónicos y mecánicos. El bobinado da como resultado unos conos que tienen tres aplicaciones básicas: urdido, tejido y tinte. En la preparación de la urdimbre, el bobinado es vital, porque se pliega el hilo, un proceso que puede resultar simple, pero es fundamental para cada tipo de hilo y cada aplicación (Fuerte Villano & Ramos Chilingano, 2018).

Es esencial poner cuidado en varios puntos a fin de mejorar el bobinado, lo que permitirá regular el hilo y eliminar los defectos. El adecuado bobinado es aplicable utilizando los métodos más convenientes en cada caso y adaptándonos a la empresa textil y para ello hay que tener en cuenta a más de lo que ya hemos mencionado, la dureza, tamaño, purgado, parafinado y elegir la forma y ángulo de plegado, de manera tal que el producto final cumpla con los requerimientos exigidos por los procesos posteriores.

A medida que profundizamos en este tema, abordaremos los diferentes tipos de bobinado, sus características, las máquinas utilizadas y las mejores prácticas que pueden maximizar la calidad del hilo.

1.3. Clasificación y Tipos de Bobinadoras

El bobinado, devanado o enconado, se define como el cambio de formato o núcleo del hilado, contenido en canillas, bobinas o madejas, a formatos llamados conos para una mejor manipulación y de esta forma realizar adecuadamente los procesos posteriores de utilización de hilo.

El bobinado no es una operación propia de la empresa comercializadora de hilo, sino que también lo pueden realizar empresas dedicadas al tejido, tintura o a la producción de géneros. Estas compañías cuentan con sus propias bobinadoras para llevar a cabo procesos intermedios dentro de su producción. (Fuerte Villano & Ramos Chilingano, 2018).

Las enconadoras textiles, también conocidas como bobinadoras, son máquinas indispensables dentro del proceso de preparación del hilo, cuya función principal consiste en transferir el hilo desde bobinas o husos primarios hacia nuevos soportes como conos, tubos cilíndricos o carretes, de acuerdo con los requerimientos del proceso posterior; pero también debemos mencionar que existen enconadoras que no se alimentan con bobinas sino con conos o madejas. La forma en la que se construye el paquete de hilo y el nivel de automatismo de la máquina son factores decisivos que afectan directamente la eficiencia operativa, la calidad del hilo y su desempeño en etapas como el urdido, la tejeduría, la tintorería o la confección.

Desde el punto de vista del grado de automatización, las enconadoras pueden clasificarse en tres tipos principales.

1.3.1. Enconadoras Manuales

Este tipo de máquinas utilizan procesos u operaciones manuales muy básicas, como son: control de tensiones, guía hilos muy sencillos, puestas en marcha y cambios de paquetes realizados en forma manual, por lo que las relaciones del operador con el material son constantes y la visión y el tacto del operador tienen una presencia continua en el proceso.

Su uso se extiende entre talleres artesanales, laboratorios textiles, centros de investigación y unidades de producción de pequeña escala, donde el objetivo principal no es la gran productividad, sino la flexibilidad, la adaptación del trabajo u opciones como experimentar con los distintos hilos. En este tipo de actividad, las enconadoras manuales permiten el desarrollo de prototipos, pruebas en laboratorio, bobinados de hilos especiales o muestras para estudios de comportamiento textil.

En su estructura son fundamentalmente máquinas de diseño simple y compactas, reguladas a base de pedales, volantes o motores de baja potencia, en las que el avance y la velocidad de bobinado están bajo control del operador. El hilo se guía hasta el núcleo o cono receptor de forma manual o mecánico-básico, mientras que el cambio de paquetes se lleva a cabo al parar la máquina, detenerla, sacar el cono lleno y colocar uno vacío.

La principal ventaja de las enconadoras manuales, por su carácter mecánico, es el bajo coste de adquisición y mantenimiento que suponen, sumado a la simplicidad de operación que no requiere de un conocimiento técnico de fondo y circunstancias especializadas para su dominio, de aquí que las enconadoras manuales sean idóneas para los lugares en los que no se plantea una inversión en la maquinaria disponible automatizada porque no es idónea por las condiciones concurrentes; sin embargo, las máquinas enconadoras manuales tienen limitaciones considerables, la calidad de los conos puede verse sometida a la modificación de un patrón de cruce; la tensión del hilo en el bobinado también puede resultar no ser uniforme, ya que depende de que la máquina enconadora manual tenga un control humano, y la productividad es baja si se la compara con las máquinas enconadoras automáticas o semiautomáticas.

Técnicamente hablando, las enconadoras manuales tienen un peso específico importante como herramienta auxiliar en los procesos experimentales, trabajos artesanales, producción a pequeña escala, pero son menos adecuadas para la producción industrial en serie, donde el bobinado tiene que ser certero, constante, y la velocidad de producción es esencial; aunque, por su valor pedagógico y su utilidad en la manipulación controlada para hilos de diferentes características, las enconadoras manuales siguen siendo útiles en el ámbito educativo operativo, pero en el marco de la tecnología textil.

1.3.2. Enconadoras Semiautomáticas

Representan un nivel intermedio de desarrollo tecnológico dentro de los sistemas de bobinado textil, combinando la simplicidad operativa de las máquinas manuales con prestaciones automáticas que incrementan la eficiencia, la uniformidad del enrollado y la productividad. Este tipo de equipos integra un accionamiento motorizado que libera al operario de la tarea de mantener el movimiento de la máquina, junto con funciones automatizadas esenciales, tales como el corte automático del hilo, el paro programado por llenado del paquete y, en algunos modelos, el guiado mecánico del hilo con control de cruce y desplazamiento.

Las enconadoras semiautomáticas todavía requieren la intervención activa del operario en las fases más críticas del proceso, como son por ejemplo la fase de montaje y colocación de los conos o bobinas vacías, la fase de colocación inicial del hilo en su armazón, la fase de extracción de los paquetes de hilo, la fase de control de la tensión del hilo durante el bobinado. La intervención del operario sigue siendo, en este proceso, relevante, pero pasa a ser un tipo de intervención donde el operario pasa a controlar, supervisar y manipular los materiales en menor escala y donde ya no es necesario realizar la intervención física continua del proceso.

En términos técnicos, el accionamiento motorizado permite trabajar a velocidades medias constantes y controladas que en las versiones manuales, lo que reduce las variaciones de tensión y mejora la compacidad del paquete; además debemos evitar el llenado excesivo para lo cual acciona el paro automático evitando sobre bobinados, deformaciones o daños estructurales en el hilo, estas características, junto con el corte automatizado, agilizan el cambio de paquetes y minimizan tiempos improductivos.

Su uso suele estar más extendido entre pequeñas y medianas fábricas textiles, buscando el equilibrio entre capital de inversión, flexibilidad y calidad de la producción, son especialmente

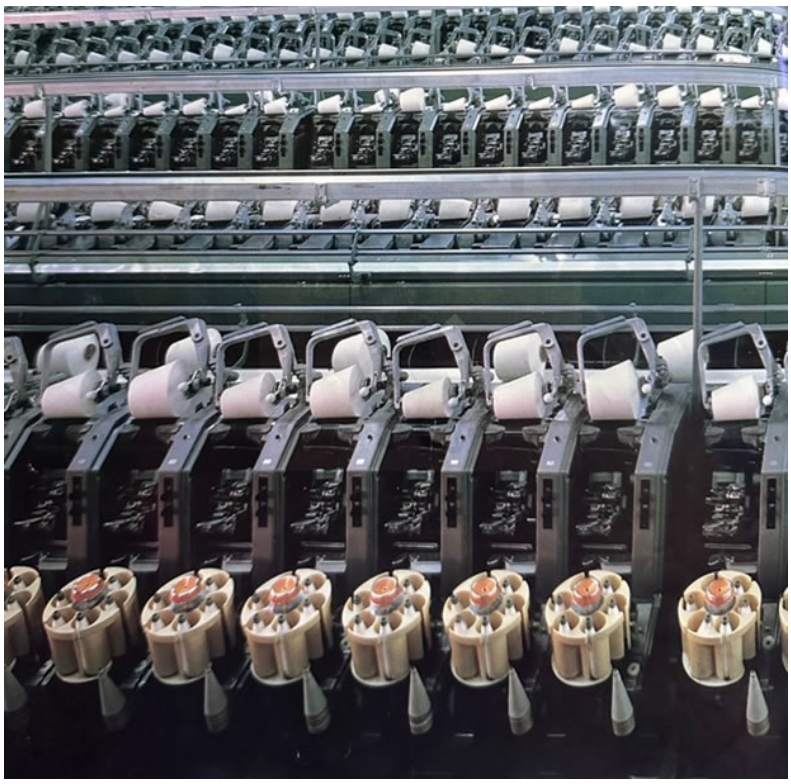
útiles para las líneas de producción que manejan volúmenes moderados, múltiples referencias de hilo o trabajos bajo pedido, ya que permiten cambios de formato a realizar de forma rápida y eficiente y sin la complejidad de una enconadora totalmente automática.

Las máquinas semiautomáticas en comparación con las enconadoras de tipo manual permiten un considerable aumento de la uniformidad, estabilidad de la tensión en bobinado, consumos y velocidad; pero se quedan limitadas frente a los nuevos sistemas totalmente automatizados, en particular en lo que respecta a disminuir la intervención humana y controlar los parámetros del bobinado en tiempo real.

Las enconadoras semiautomáticas, son una solución versátil y rentable para entornos productivos que requieren un nivel superior de precisión y eficiencia que el de las máquinas manuales (ver Figura 1.1), pero que aún no justifican la inversión y la complejidad de los sistemas de enconado completamente automatizados.

Estas máquinas permiten una carga manual de las husadas y una sustitución automática de las bobinas. Gracias a los purgadores electrónicos y a los empalmes con aire (SPLICER), aseguran un purgado óptimo del hilo, haciendo que las uniones sean prácticamente invisibles en miles de metros de hilo. Esto facilita su uso en etapas de producción posteriores (Koranne, 2013).

Figura 1.1: Alimentación manual en máquina enconadora de bobina a cono.



Nota. Imagen reproducida de *No. 7-V Mach Coner Bobbin-Tray Type* (Muratec, s.f.).

1.3.3. Enconadoras Autométicas

Representan el nivel más avanzado en la tecnología de bobinado textil, concebido para lograr un proceso completamente automatizado que abarca desde la alimentación inicial del hilo hasta la obtención del paquete final listo para su uso en procesos posteriores. En estas

máquinas, cada fase incluyendo el guiado preciso del hilo, el corte automático, el empalme mediante sistemas *splicer*, la limpieza del hilo, el control de tensión, el parafinado y el cambio automático del paquete, se realizan sin intervención manual directa, coordinada por sistemas electrónicos y mecánicos de alta precisión.

El corazón de una enconadora automática moderna radica en su integración de múltiples sistemas especializados, disponen de sensores de rotura y de presencia de hilo que permiten detener de forma inmediata el huso afectado y ejecutar una secuencia de reparación o empalme sin afectar el resto de la producción. Los controles de tensión electrónicos, en conjunto con purgadores automáticos, garantizan que el hilo se mantenga libre de defectos y con una tensión constante a lo largo de todo el bobinado. Los sistemas de parafinado permiten medir y aplicar el lubricante sólido en función de la fibra a trabajar y la demanda de utilización del hilo, aumentando el rendimiento en el proceso de tejeduría o reduciendo la fricción en el uso final; además estas máquinas van dotadas con programación que permite decidir la forma según el núcleo, el ángulo de cruce, la densidad y la longitud del paquete, integrándose así frente a los modelos con diferentes soportes de conos, tubos y carretes. Algunos modelos de estas máquinas vienen provistos de pantallas de tipo digital conectadas a redes industriales (Industria 4.0) que permiten la integración en los sistemas de control y monitorización en tiempo real en los cuales se generan datos sobre producción, consumos de hilo, roturas, tipos de fallas, de incidencias y rendimientos que permiten la optimización en la planificación y operación.

Su alta velocidad de operación, unida a una fiabilidad sobresaliente, y a un bajo nivel de intervención humana, hacen que sean muy utilizadas en plantas industriales modernas, con grandes volúmenes de producción y con exigencias de calidad estrictas. La automatización favorece no solo a conseguir una mayor homogeneidad en la presentación del cono evitando las variaciones que puede haber por paquete de fabricación, sino que también reduce los desperdicios y, por ende, el tiempo improductivo, lo que traduce una respuesta más productiva y competitiva. Las enconadoras automáticas son el estándar tecnológico a tener como referencia para la producción textil industrial de alta producción garantizando precisión, uniformidad, adaptación y total control sobre cada aspecto del bobinado y es, para mentalidades que buscan maximizar la calidad y la eficiencia de sus operaciones, la opción más eficiente.

1.4. Tipos de Bobinado

En el conocimiento de enconado, uno de los criterios de clasificación más relevante para encasillar las enconadoras es el tipo de bobinado que el hilo realiza sobre el núcleo o el cono, llamado sistema de construcción del paquete. Este aspecto no solamente está en relación con la geometría final de cada paquete, sino que también contribuye a su estabilidad, a la facilidad en el desenrollado posterior y a la eventual interacción con los procesos posteriores. Normalmente, se definen dos grandes tipos de bobinado: el bobinado paralelo y el bobinado cruzado, cada uno con sus propias características, sus ventajas y sus aplicaciones específicas.

La elección entre bobinado paralelo o cruzado no es arbitraria; depende de múltiples factores como el tipo de hilo (título, torsión, fibra, acabado), la finalidad del paquete, las condiciones de almacenamiento y transporte, y el sistema de alimentación en la maquinaria de destino; además, dentro de cada tipo existen variantes de ángulo, densidad y patrón de enrollado que pueden ajustarse mediante la programación de la enconadora, optimizando así el comportamiento del cono en su uso final.

El comprender las diferencias entre los tipos de bobinado y sus implicaciones técnicas es fundamental para seleccionar el sistema más adecuado en función de los requerimientos de

calidad, productividad y compatibilidad con el proceso textil posterior, asegurando paquetes funcionales, estables y eficientes en la cadena de producción.

1.4.1. Bobinado Paralelo

Es un sistema de construcción de paquetes en el que el hilo se enrolla en capas perfectamente alineadas, con un ángulo de cruce prácticamente nulo, de manera que cada espira se coloca adyacente a la anterior siguiendo un patrón recto y ordenado. Esta disposición genera un envoltorio cilíndrico de alta densidad y gran estabilidad dimensional, capaz de contener un volumen considerable de hilo en relación con el tamaño del núcleo o soporte.

Desde el punto de vista técnico de la densidad lineal de empaquetado en el sistema considerado, se observa el privilegio que obtienen los bobinados paralelos por el hecho de que las espiras no se superponen, consiguiendo factores de compactación mayores que los alcanzados en el bobinado cruzado. Según Koranne (2013), los paquetes paralelos son capaces de llegar a un factor de llenado del 80-85 % del volumen práctico del soporte, lo cual es conveniente para procesos de teñido a alta presión en condiciones de autoclave, donde se conseguirá la máxima carga de hilo por ciclo y se incrementa así la productividad.

El bobinado paralelo se utilizó históricamente de forma prematura en máquinas para bobinados huecos o para teñido, en especial en los tejidos naturales como el algodón y la lana, en los cuales no se puede olvidar que la penetración del tinte debe ser lo más uniforme posible. En este sentido, el empleo de tubos perforados o husillos huecos de acero inoxidable con patrón de perforaciones calculado en función del título del hilo y de su permeabilidad (Koranne, 2013), son condiciones necesarias para que el flujo de tinte pueda atravesar las capas compactas del paquete de forma uniforme. Las ventajas técnicas del bobinado paralelo incluyen:

- Alta capacidad de carga de hilo por unidad de soporte.
- Geometría estable para el desenrollado axial en procesos controlados.
- Uniformidad en la disposición de capas, favoreciendo la regularidad de teñido y minimizando diferencias de tono (shade variation).

No obstante, presenta limitaciones operativas, entre las cuales podemos citar:

- Ausencia de entrelazado entre capas, lo que puede producir colapsos o desplazamientos internos si la tensión de bobinado no es la adecuada.
- Necesidad de tensores y guiadores de alta precisión para evitar la formación de espacios o montajes irregulares entre vueltas.
- Mayor susceptibilidad a deformaciones por manipulación incorrecta o cambios bruscos de humedad y temperatura, que afectan la compacidad del hilo.

Para evitar defectos, se recomienda:

En el bobinado paralelo, uno de los desafíos más importantes es la prevención de defectos estructurales en el paquete, ya que la disposición de las capas en forma lineal y superpuesta puede generar presiones internas que comprometan tanto la estabilidad como el desenrollado posterior del hilo. Con el objetivo de asegurar la calidad del paquete, si hay un aspecto que se destacará, siempre es el de una tensión constante durante el desarrollo del proceso de enconado y en función del título del hilo y de su porcentaje de elasticidad. Así, por ejemplo, en hilos de

poliéster de Dn 150, la tensión óptima se encuentra dentro de un rango de aproximadamente 0,15 a 0,25 cN/dtex; de esta forma se consigue un paquete suficientemente compacto y sin riesgo de roturas o de caída de las capas internas.

El manejo del hilo es otro de los aspectos clave en ese tipo de bobinado. La última generación de enconadoras automáticas, como la Murata QPRO EX, se encuentran equipadas con sistemas de guiado electrónicos que son capaces de posicionar cada espira con una precisión de ±0,01 mm. Esta precisión es una de las premisas para evitar la existencia de zonas muy densas o vacías, es decir, aquellos defectos que provocan una menor calidad estética del paquete.

El bobinado paralelo encuentra un equilibrio delicado de tensión, guiado y ángulo de aproximación para la prevención de los vicios típicos de esta técnica, como los colapsos del interior de los conos, las deformaciones, las tensiones diferentes. Las tecnologías de control incorporadas y la buena parametrización de los equipos son aspectos fundamentales para facilitar la obtención de paquetes bien conformados, técnicamente fiables y aptos para las exigencias de la industria textil moderna.

Dado lo expuesto, el bobinado paralelo, es un sistema que combina alta densidad de empaquetado y uniformidad estructural (ver Figura 1.2), idóneo para aplicaciones donde el desenrollado es axial y controlado. Su uso efectivo depende del equilibrio entre compactación y estabilidad, donde debemos tener un control riguroso de parámetros como tensión, velocidad de bobinado, permeabilidad del soporte y condiciones ambientales de la sala de producción.

Figura 1.2: Bobinado paralelo.



Nota. Fotografía de autoría propia, 2025.

1.4.2. Bobinado Cruzado

El bobinado cruzado es el sistema de enrollado de hilo más extendido en la industria textil moderna para la producción de conos y paquetes destinados a procesos de desenrollado rápido y continuo, como el urdido seccional, la tejeduría plana, la tejeduría de punto y algunas etapas de confección. En este sistema, el hilo se deposita sobre el núcleo siguiendo un ángulo de cruce definido; normalmente las empresas textiles ya lo tienen definido y está relacionado con el tipo

de hilo y el uso final; de modo que, cada espira se superpone parcialmente sobre la anterior, generando una estructura entrelazada que cohesiona las capas internas del paquete.

El beneficio del bobinado cruzado se ve reflejado cuando las espiras van acompañadas con el correspondiente entrelazado, van a conferir una estabilidad mecánica del paquete que permite disminuir el riesgo de producir desplazamientos o colapsos internos que son más frecuentes en el bobinado paralelo. Esta cohesión interna resulta especialmente útil cuando producimos hilos para un desenrollado más rápido, porque el entrelazado evita esos tirones bruscos o una cierta despreocupación a la hora de sacar el hilo.

El bobinado cruzado fue ampliamente desarrollado desde la segunda mitad del siglo XX, que es el periodo en que la industria textil comenzó a buscar paquetes bobinados que proporcionaban mucha más estabilidad y un desenrollado mucho más predecible cuando alimentaban directamente las máquinas que empezaban a operar a altas velocidades. Koranne (2013) se refiere que el bobinado cruzado y enuncia que "va parejo con la normalización del uso de las enconadoras automáticas por medio de control de cruzado, una máquina que puede alcanzar a mantener un ángulo de forma constante y que suele ir acompañada de un sistema de guiado mecánico o electrónico que trabaja en sincronía con la velocidad de rotación del huso."

Hoy en día, fabricantes como *Murata Machinery Ltd. y Savio Macchine Tessili* ya incorporan sistemas de control de patrón de cruzado adaptativo; esto significa que las máquinas van ajustando el ángulo de cruzado para evitar las denominadas "zonas duras" y, de esta forma, mejorar la uniformidad en la densidad del paquete.

El bobinado cruzado implica unas ventajas operativas que convierten a este tipo de producción en el producto idóneo preferente en gran parte de la industria textil moderna. La forma entrelazada que adopta el bobinado cruzado, como se muestra en la Figura 1.3, permite una mayor estabilidad del paquete, evitando variaciones debido a vibraciones o manipulaciones, obviando deformaciones o posiciones alteradas de las capas más internas del bobinado. Mediante esta forma de bobinado, es posible en el desenrollado alcanzar velocidades superiores a 1.200 m/min y mantener estable la tensión de este desenrollado, por lo tanto, evitar paradas debidas a accidentes en el proceso. Además, el bobinado cruzado presenta menores alteraciones debido a colapsos o rebordes internos y es plenamente compatible con el tratamiento a lo largo del proceso de los sistemas del purgado y parafinado sin que el paso del proceso produzca transformaciones estructurales del paquete.

Figura 1.3: Bobinado cruzado.



Nota. Fotografía de autoría propia, 2025.

Sin embargo, también existen desventajas o limitaciones que deben considerarse, una de ellas es la menor densidad lineal de carga en comparación con el bobinado paralelo, (ver Figura 1.3) debido a los espacios generados por el cruce de las espiras, de esta forma, el bobinado cruzado requiere un sistema de guiado preciso y perfectamente sincronizado para evitar defectos como el *ribboning*, fenómeno que provoca la formación de bandas compactas que pueden afectar negativamente el desenrollado, a esto se suma una mayor complejidad mecánica y un costo de mantenimiento más elevado que el de las bobinadoras de enrollamiento paralelo.

Para conseguir la calidad adecuada de un paquete de bobinado cruzado, hay que tener en cuenta una serie de aspectos técnicos. El valor de la tensión de bobinado ha de ser constante, siempre dentro de los límites que se adecúan en función del título y tipo de fibra; por ejemplo, en el caso de un algodón peinado Ne 30, es recomendable un valor de la misma entre 0,15 y 0,20 cN/dtex, la velocidad de cruce tiene que conciliarse con la velocidad del huso para que el ángulo se pueda mantener constante y no haya variaciones en el mismo, que interfieran en la cohesión del paquete; así también se recomienda controlar el perfil de la densidad, de tal forma que algunas enconadoras modernas permiten hacerlo progresivamente desde el núcleo hasta el exterior, con lo cual se mejora el desenrollado y se reduce el riesgo de deformaciones. Para una mayor compresión en la Tabla 1.1 se presentan comparaciones donde se nota claramente los criterios técnicos entre los dos sistemas de enrollamiento para tomar una mejor decisión técnica, donde se observa las aplicaciones más comunes, mencionar que el bobinado cruzado constituye el estándar de alimentación de cara a la tejeduría plana y de punto, donde la estabilidad del desenrollado es un aspecto esencial, también se utiliza ampliamente en procesos de urdido directo y seccional y en los hilos técnicos, que necesitan transporte y almacenamiento durante un periodo prolongado sin peligro de deformación interior.

El bobinado cruzado ha sido establecido como el método más polivalente y dirigido para la mayoría de las aplicaciones textiles de hoy en día, consiguiendo un compromiso de estabilidad,

desenrollado y velocidad de trabajo satisfactorios. Si bien sacrifica cierta capacidad de carga frente al bobinado paralelo, su superior comportamiento mecánico y su adaptabilidad lo convierten en la opción preferida para la producción industrial de conos de alto rendimiento.

Tabla 1.1: Tabla Comparativa, Bobinado paralelo vs. Bobinado cruzado

Criterio técnico	**Bobinado paralelo**	**Bobinado cruzado**
Definición	El hilo se enrolla con ángulo de cruce prácticamente nulo, espiras alineadas y paralelas entre sí.	El hilo se enrolla con ángulo de cruce definido (20°–40° aprox.), espiras superpuestas parcialmente formando un patrón entrelazado.
Estructura del paquete	Capas compactas y rectas, alta densidad lineal.	Capas entrelazadas que aportan mayor cohesión interna.
Factor de llenado	Muy alto (80–85 % del volumen disponible) debido a la ausencia de espacios cruzados.	Moderado (70–78 % del volumen disponible) por la separación generada en el cruce.
Estabilidad interna	Baja: riesgo de desplazamiento de capas y colapso si no hay control de tensión y manipulación cuidadosa.	Alta: el entrecruzado estabiliza las capas y evita deformaciones internas.
Ángulo de cruce	Casi nulo (0°–5°).	Ajustable según la aplicación: 20°–40° aprox.
Densidad del paquete	Muy alta, ideal para aprovechar al máximo el espacio del núcleo.	Media-alta, pero más uniforme desde el núcleo hasta la superficie.
Velocidad de desenrollado	Baja media, requiere control axial; no apto para desenrollados muy rápidos sin soporte adicional.	Alta, ideal para desenrollados rápidos y continuos, sin accesorios adicionales.
Tensión de desenrollado	Debido a la dificultad para la regulación precisa de la tensión cuando se utiliza un hilo con un gran diámetro.	Debe tener mucha tolerancia a la presencia de variaciones, ya que la estructura de la trama mantiene la tensión relativamente constante.
Procesos típicos	Teñido en autoclave, paquetes cilíndricos para procesos lentos, bobinas de máquina de coser, alimentación controlada.	Urdido directo y seccional, tejeduría plana y de punto, procesos de alta velocidad.

Continúa en la siguiente página

Criterio técnico	**Bobinado paralelo**	**Bobinado cruzado**
Ventajas principales	• Máxima capacidad de carga. • Compactación óptima. • Ideal para procesos que requieren desenrollado axial controlado. • Mayor aprovechamiento del soporte.	• Alta estabilidad mecánica. • Desenrollado fluido incluso a $>$1200 m/min. • Menor riesgo de colapsos y rebordes. • Mayor versatilidad en diferentes procesos.
Desventajas principales	• Baja estabilidad interna. • Sensible a desplazamientos y deformaciones. No es apto para tipos de desenrollado a alta velocidad. • Exige una tensión muy controlada. Menor capacidad de carga en comparación con el paralelo. • Es indispensable un guiado detallado (un defectuoso guiado puede conducir a defectos tan comunes como el ribboning). No obstante, presenta mayor complejidad mecánica y coste de mantenimiento.	• Menor capacidad de carga que el paralelo. • Requiere guiado preciso para evitar defectos como el ribboning. • Mayor complejidad mecánica y costo de mantenimiento.
Equipos típicos	• Enconadoras para teñir con tubos perforados, máquinas de bobinado paralelo para fines específicos.	• Enconadoras automáticas a alta velocidad con control electrónico de cruce de bobinas.

Nota. Elaboración propia.

Capítulo 2

Proceso de Enconado Textil

2.1. Tipos de Alimentación en el Proceso de Enconado Textil

En los procesos de preparación de hilo para la tejeduría, el enconado representa una fase clave que permite transformar la presentación original del hilo (como bobina, cono o madeja) en un paquete final funcional y compatible con la maquinaria de urdido, tejido plano, tejeduría de punto o simplemente la comercialización de hilos. Existen distintas formas de alimentación en las máquinas enconadoras, de las cuales las más comunes en la industria textil son: de bobina a cono, de cono a cono y de madeja a cono. Cada una responde a una necesidad específica del flujo de trabajo, dependiendo de cómo se procesó o adquirió el hilo y del uso al que se destinará posteriormente. A continuación, se describe una breve reseña de las principales características de cada una de ellas para luego centrarnos en la manera más común de fabricación de conos de hilo para la producción textil, que es el sistema de bobina a cono.

2.1.1. Enconado de Bobina a Cono

Esta forma de alimentación se refiere a la transferencia del hilo desde una bobina o canilla de hilo hacia un cono troncocónico, que suele tener un enrollado cruzado. Es una de las configuraciones más utilizadas en hilanderías y plantas textiles cuando el hilo se entrega desde el proceso de hilatura en bobinas industriales o paquetes de menor volumen, y se requiere adaptar su forma para el consumo directo en procesos siguientes de la industria textil, como lo podemos visualizar en la Figura 2.1.

Las bobinas iniciales pueden provenir normalmente de sistemas de hilatura por anillos. El cono final, por su parte, ofrece una mejor estabilidad estructural, mejor desenrollado a alta velocidad y facilidad de colocación en porta conos de máquinas posteriores. Este tipo de enconado suele ir acompañado de operaciones complementarias como limpieza de hilo, empalme automático, purgado y parafinado, según las exigencias del proceso.

Características destacadas:

- Alto volumen de hilo procesado.
- Elevada velocidad de enconado.
- Buena adaptabilidad para procesos industriales automatizados.

Figura 2.1: Alimentación de bobina a cono.



Nota. Imagen escaneada de *Catálogo Mini RAS Bobinadora Automática* (Savio, s.f.).

2.1.2. Enconado de Cono a Cono

En esta modalidad, el hilo se transfiere desde un cono de origen a otro cono receptor, como podemos observar en la Figura 2.2, sin modificar la forma básica del soporte, pero optimizando parámetros como la tensión, la forma del bobinado, la limpieza del hilo o la uniformidad del paquete, debemos considerar que el hilo que está alimentando, ya pasó por los diferentes procesos de parafinado, purgado y tensiones; por consiguiente, debemos generar otras diferentes condiciones de enrollamiento. Esta opción es habitual cuando se requiere reprocesar hilos que han sido sometidos a procesos intermedios como el teñido en cono, o cuando se desea mejorar la presentación del hilo tras un almacenamiento prolongado.

También se emplea en el caso de hilos parcialmente utilizados, donde es necesario unificar paquetes o recuperar hilo remanente para integrarlo nuevamente a la producción. Este tipo de enconado puede realizarse tanto en conos del mismo tipo como en conos de diferente ángulo o tamaño, dependiendo del destino final del hilo (por ejemplo, de un cono cilíndrico a un cono troncocónico).

Figura 2.2: Alimentación en máquina bobinadora de cono a cono.



Nota. Imagen tomada de Thread-Winder (Thread-Winder, s.f.).

Características Sobresalientes

- Aconsejable para reacondicionamiento de paquetes teñidos.
- Permite la mejora de la geometría del cono.
- Suele incluir procesos de purgado y aplicación de cera, pero no es habitual.
- Alimentación para Máquinas Bobinadoras

2.1.3. Enconado de Madeja a Cono

La alimentación mencionada corresponde a una transferencia de hilo desde la madeja (forma tradicional de presentación, que puede ser similar a un ovillo abierto o lazo) hacia un cono textil, como está representada en la Figura 2.3. Se encuentra mucho más presente en hilos provenientes de procesos artesanales, de teñido a mano o en armarios para la tintura; también es habitual encontrarla cuando se utilizan fibras especiales (como lino, lana, seda o combinaciones técnicas) que no pueden ser traídas inicialmente en forma de bobina por razones estructurales.

La madeja, por último, se presenta como una forma antigua y versátil; a la vez, el empaque no es muy práctico para ser directamente puesta a trabajar en maquinaria moderna. Por esta razón, resulta bastante efectiva volver a realizar un cono de hilo desde la forma de madeja. La práctica de enconado desde madeja a cono requiere un soporte giratorio tal que permita desenrollar la madeja sin que se generen enredos o torsiones no deseadas. El desenrollado debe realizarse con un cuidadoso control del mismo sin tirones o roturas, máxime si se trata de fibras delicadas.

Características Destacadas

- Se necesita una guía manual o mecánica para evitar enredos.
- Velocidad de enconado más lenta.
- Uso habitual para recuperar hilos que han sido teñidos a mano o técnicas especiales.

Figura 2.3: Alimentación en máquina bobinadora de madeja a cono.



Nota. Imagen escaneada de Fadis Textile Machinery, *Catálogo Línea de productos*.

2.1.4. Semejanzas y Diferencias entre los Tres Sistemas de Alimentación

En los procesos de enconado, independientemente del sistema de alimentación empleado, ya sea bobina a cono, cono a cono o madeja a cono, el objetivo central es siempre el mismo: obtener un paquete de hilo uniforme, limpio y con tensión controlada, que pueda ser utilizado de manera eficiente en etapas posteriores. Todos estos sistemas pueden llevarse a cabo en enconadoras manuales, semiautomáticas o automáticas; sin embargo, el grado de tecnología disponible influye directamente en la calidad final del paquete; además, en cualquiera de ellos es posible integrar funciones complementarias, como purgadores electrónicos, sistemas de splicer o parafinado, cuya inclusión dependerá del tipo de fibra, del título de hilo y de la relación costo-beneficio para cada empresa textil.

Las diferencias fundamentales residirán en la forma del soporte que arroja el hilo en un principio y en la exigencia de complejidad en su funcionamiento. En los sistemas bobina a cono y cono a cono, la automatización y la velocidad de producción son más altas; por lo tanto, son los más utilizados en los procesos industriales en línea. En cambio, el enconado de madeja a cono es más reducido y, además, se asocia a determinados procesos como por ejemplo la tintura en autoclave, la producción de forma artesanal o algunas hilaturas especiales, donde se debe tener un mayor cuidado en la manipulación del hilo, con el consiguiente descenso en la rapidez de operación.

La elección del sistema de alimentación correcto será una de las decisiones técnicas que determinan la idoneidad del acondicionamiento del hilo, como podemos observar en la

Figura 2.4 que esquematiza una alimentación manual, mientras que en la Figura 2.5 se grafica una alimentación automática. Una buena elección permite optimizar la calidad mecánica y visual del paquete, disminuir el desperdicio, evitar paros de máquina por roturas, incrementar la eficiencia de operación y facilitar la adecuación del hilo a los requerimientos técnicos de las máquinas modernas. Parámetros como la velocidad de desenrollado, la tensión a la que se encuentra el hilo durante el bobinado, la forma del paquete y la estabilidad estructural de este dependen en buena medida de esta decisión técnica.

Figura 2.4: Sistema de alimentación manual.



Nota. Fotografía de autoría propia, 2025.

Figura 2.5: Sistema de alimentación automática.



Nota. Imagen escaneada de Savio Macchine Tessili, *Catálogo Savio* (Savio, s.f.).

Para todos aquellos que hacen parte de la industria textil, conocer y comprender bien las semejanzas y diferencias de estos sistemas no es solo un conocimiento meramente teórico, sino

que supone una herramienta clave para la selección tecnológica, la mejora de procesos y la competitividad industrial. En este contexto, el estudio de las máquinas enconadoras de bobina a cono adquiere una particular importancia, al ser utilizadas en la mayoría de los entornos productivos. A pesar de que el principio funcional de la enconadora de bobina a cono se asemeja al de las máquinas enconadoras de cono a cono y madeja a cono, la diferencia está en el tipo de alimentación inicial y en mínimas adaptaciones de funcionamiento que en la medida irá variando según la visión técnica de cada empresa y las características de su producción.

2.2. Alimentación para Máquinas Bobinadoras

El enconado se convierte en la etapa crítica en la preparación del hilo para la siguiente operación en la industria textil, en este sentido, toda la eficiencia, calidad y continuidad del enconado dependen del correcto suministro de bobinas, y es aquí donde empieza la logística interna del transporte y el paso del hilo a la bobina de enconado.

Se conoce de un sistema automatizado de suministro continuo de hilo a la máquina enconadora por medio de trails o devanadores auxiliares. Este sistema permite que el hilo se transfiera desde las bobinas de alimentación hacia los usos de enconado sin la intervención manual, produciendo interrupciones mínimas y aumentando la eficiencia.

El sistema con trails, como observamos en la Figura 2.6, está diseñado para mantener una alimentación constante y uniforme del hilo, lo cual es esencial para preservar la regularidad de la tensión de enrollamiento y garantizar la calidad del paquete final, los trails actúan como intermediarios que almacenan una reserva de hilo lista para ser utilizada en el momento en el que se detecta el agotamiento de la bobina principal, realizando automáticamente el cambio de fuente sin detener la máquina; cabe señalar que en la mayoría de las máquinas la capacidad de almacenamiento es de tres bobinas por huso. Este tipo de alimentación es muy apropiada en instalaciones industriales de gran producción, en las que resulta de vital importancia la continuidad del proceso para conseguir altos niveles de producción y para ayudar a la reducción del material que se desperdicia.

Figura 2.6: Diferentes tipos de Trails con variación de altura.



Nota. Imagen escaneada de *Winding and splicing technology*.

2.2.1. Transporte Interno de Bobinas

Aparte de un aumento de la eficacia, la alimentación automática mediante trails colabora también en disminuir el desgaste mecánico del medio técnico, ya que evita arranques y paradas, al mismo tiempo que también colabora en reducir la carga de trabajo del operario permitiendo una automatización de aquellas tareas repetitivas. Este tipo de sistema puede incluir sensores electrónicos, sistemas neumáticos o servomecanismos que gestionan de manera precisa la transición del hilo, asegurando la alineación y el posicionamiento adecuados durante el traspaso. A continuación, se describe la alimentación automática hasta el inicio del enconado:

Las bobinas que alimentarán a las máquinas enconadoras provienen generalmente de procesos anteriores como el hilado, el retorcido o incluso de áreas de teñido, si se trata de material teñido en forma de cono o madeja. Su transporte puede realizarse manualmente con carros porta-bobinas o mediante sistemas automatizados como bandas transportadoras, debidamente sincronizadas.

Una vez en la zona de alimentación de la máquina enconadora, las bobinas pasan por una etapa de inspección visual o automatizada para asegurar que estén en condiciones adecuadas, sin hilos rotos, deformaciones, impurezas ni errores de título; en algunos casos, las máquinas cuentan con lectores de códigos o sistemas RFID para identificar el tipo de hilo, título, lote o color, lo que facilita la trazabilidad del proceso, lo que es una clasificación y selección de bobinas.

Las bobinas seleccionadas se montan en un sistema de soporte llamado creel. Este puede ser estático o giratorio, y su diseño debe asegurar una tensión inicial estable del hilo y una correcta dirección de desenrollado (normalmente con salida axial o tangencial). En sistemas avanzados, el *creel* puede ser alimentado automáticamente, detectando la terminación del hilo en la bobina y reemplazándola sin detener la operación (alimentación continua).

Desde el creel, el hilo pasa por una serie de dispositivos que regulan, protegen y preparan el hilo para el proceso de enconado; estos elementos incluyen:

- **Tensores:** Dispositivos mecánicos o electrónicos que regulan la tensión del hilo de forma constante, evitando fluctuaciones que puedan afectar la formación del paquete.
- **Detector de hilo roto:** Sensores que interrumpen el proceso ante una rotura, evitando el enconado defectuoso.
- **Dispositivos de limpieza** (*yarn cleaners*) o filtros: Eliminan partículas, fibras fluctuantes, pelusas presentes en el hilo, lo hacen por medio de flujos de aire y no tienen relación con los purgadores de hilo. Este actúa como un limpiador superficial de la bobina.
- **Guía-hilos** (*yarn guides*): Aseguran el trayecto lineal del hilo hacia el huso, evitando fricciones innecesarias.

2.2.2. Entrada del Hilo al Huso de Enconado

Al recorrer los dispositivos anteriormente descritos, el hilo llega finalmente al huso, donde comenzará el proceso de enrollamiento o enconado; por otro lado, en máquinas con sistema automático existen bobinadoras que trabajan con un sistema computarizado el cual lleva el nombre de “CAP (Computer Aided Package)” es un programa el cual controla la alimentación y provisión continua del material a enrollar; este guía a las bobinas o husos por un tren de desplazamiento o senderos y movidas por bandas de transporte a lo largo de toda la máquina.

Estas máquinas trabajan con un sistema de transporte automatizado en los cuales intervienen los llamados “Trail”, que son dispositivos que tienen en la parte de la base insertados un chip en unos casos; y en otros, ranuras mecánicas, las cuales definen la ruta que debe seguir de acuerdo a una programación establecida relacionada con el título del hilo, la función de este dispositivo es transportar las bobinas llenas a los husos vacíos para que se alimente, la máquina detecta donde hace falta una bobina y envía una señal al trail para que este transporte al lugar faltante, estas máquinas se utilizan para trabajar alta producción por lo que su flujo es continuo, ya que el cambio de los husos es rápido y preciso.

Una alimentación correcta y eficiente en las máquinas enconadoras garantiza un flujo continuo de producción además de asegurar la calidad del hilo: en tensión, limpieza y en constitución de la bobina; así como también genera una reducción en el desperdicio, los tiempos de detención y colabora también en aumentar el rendimiento del sistema productivo en conjunto.

Este conocimiento es importante para aquellas personas que estén vinculadas al mundo textil, ya que les permitirá conocer y comprender la relación existente entre los procesos físicos de manipulación del hilo y su vinculación con la calidad del producto final.

2.3. Sistemas Rompe Balón en las Enconadoras Textiles

En el proceso de enconado o bobinado de hilos textiles, uno de los elementos técnicos más importantes, pero muchas veces subestimado, es el rompe balón, este componente juega un papel fundamental en el control del desenrollamiento del hilo de la bobina durante el enrollado en el cono, especialmente en operaciones a altas velocidades, donde la estabilidad y la preservación de la integridad física del hilo son esenciales para garantizar un producto final uniforme y libre de defectos.

El rompebalón (denominado también balloon breaker o balloon control) es el sistema mecánico cuya misión principal es reducir y mantener el diámetro del “balón” que genera el hilo en su camino desde el paquete de alimentación hasta el huso de bobinado. Este “balón” no es más que una curva helicoidal que forma el hilo por el efecto de la fuerza centrífuga del hilo en movimiento, que puede llegar a producir tensiones erráticas, fricción excesiva, daños en la superficie del hilo e incluso rupturas si no se controla. Adicionalmente, el rompe balón es un elemento esencial en la calidad del bobinado, ya que es directamente proporcional a la velocidad de la máquina.

El rompe balón se puede definir como una parte fundamental de las enconadoras textiles, dado que tiene un efecto inmediato en la estabilidad del desenrollado y la formación uniforme del paquete. Un correcto ajuste de este elemento permite garantizar que la tensión de hilo se mantenga constante durante todo el procedimiento a realizar, es más, la calidad del bobinado presenta una relación directa con la regularidad de la tensión que se va desarrollando durante el proceso productivo siguiente. Una tensión irregular puede ocasionar defectos críticos como zonas flojas, puntos duros, colapsos estructurales del paquete o incluso roturas frecuentes que interrumpen la continuidad de la producción.

El sistema rompe balón; además, cumple una función de protección del hilo frente a contactos bruscos con componentes metálicos o con hilos adyacentes; con el uso constante de la máquina, las paredes de los rompe balones tienden a desgastarse, adquiriendo superficies ásperas que incrementan el riesgo de generar fibras fluctuantes, pelusas y, en casos extremos, roturas del hilo. Para ello es importante revisar a intervalos regulares de tiempo la condición del estado superficial de las placas y mantener distancias entre las placas rompe balones.

Otro aspecto técnico importante es evitar el sobrecalentamiento de las placas por fricción, ya que hay que mantenerlas a temperatura moderada dado que es especialmente peligroso para aquellas fibras que son micro fusionables como el poliéster, las mismas se funden y nos causará problemas posteriores, este fenómeno afecta la resistencia mecánica y la uniformidad del paquete, además de incrementar la tasa de defectos en procesos posteriores.

En el caso de hilos finos o delicados, como microfibras, viscosa o hilados compactos tipo Dreff, la regulación adecuada del rompe balón adquiere aún mayor relevancia; un ajuste inadecuado puede traducirse en un desgaste acelerado del hilo, pérdida de propiedades superficiales o incremento de roturas. Ante estos casos, es esencial elaborar estudios técnicos que establezcan la unión de los parámetros, calidad del producto y velocidad de la máquina, para que así se pueda determinar el punto de operación óptimo entre productividad y conservación de la integridad del hilo.

Un buen sistema rompe balón debemos calibrarlo al inicio de la producción, ya que si lo realizamos al haber iniciado la misma; es probable que, afecte la geometría del paquete final, manteniendo tensiones de trabajo constantes, se consigue que los conos sean uniformes, compactos y carentes de irregularidades como zonas duras o blandas. Esta condición no solo facilita un mejor desempeño en procesos posteriores, sino que también visualmente el paquete tiene una estructura diferente, además de optimizar el rendimiento global de la planta productiva. En suma, el ajuste preciso y el mantenimiento preventivo del rompe balón constituyen prácticas imprescindibles para alcanzar estándares de calidad elevados en el enconado textil moderno.

2.3.1. Principales Tipos y Sistemas de Rompe Balón

En el proceso de enconado o bobinado de hilos textiles, el control de la trayectoria del hilo es un aspecto crítico para garantizar la uniformidad del paquete, la estabilidad de la tensión y la integridad del hilo. Uno de los dispositivos más relevantes en este control, como ya se ha manifestado, es el rompe balón o antibalón, sistema que se representa en la Figura 2.7, cuyo objetivo fundamental es interrumpir o controlar la formación del “balón” de hilo que se genera por efecto de la fuerza centrífuga cuando el hilo se desenrolla a gran velocidad desde un paquete de alimentación, especialmente desde conos o bobinas. Todos los sistemas de tensión del hilo, están direccionados a generar un enrollamiento uniforme, evitando bucles, sobre alimentaciones o falsas tensiones, lo que acrecienta las vibraciones en el proceso de enrollamiento, dando lugar a enredos, originando roturas innecesarias. El rompe balón se comporta como una guía, friccionando levemente en las paredes del rompe balón manteniendo al hilo en una trayectoria determinada, ya sea lineal o ligeramente curvilínea, reduciendo el diámetro de expansión que tendrá el hilo durante su desenrollado. Generalmente el rompe balón hace que el hilo siga una trayectoria en línea recta.

Figura 2.7: Sistema Antibalón.



Nota. Fotografía de autoría propia, 2025.

Existen muchos sistemas de rompe balones, al igual que existen muchas configuraciones que varían en cuanto a su geometría, material, posición en la máquina y principio de funcionamiento. La elección de estos sistemas dependerá del tipo del hilo (filamento o hilado), tipo de materia prima, fibra natural o sintética, título del hilo, la velocidad, la sensibilidad de la operación y el trabajo. El rompe balón es un elemento a veces infraestimado; sin embargo, es fundamental para mantener la estabilidad dinámica del hilo, así como para la eliminación de defectos físicos de la estructura del paquete final. Por tanto, comprender sus variantes, funcionamiento y correcta aplicación es esencial para quienes estamos involucrados en la industria textil, en especial en la parte productiva; para lo cual, damos una reseña de los sistemas más importantes:

Rompe Balón Tipo Anillo Fijo

Consiste en un anillo metálico o cerámico, ubicado en una posición estratégica entre el guía hilo y el huso; su diámetro se selecciona de acuerdo con la altura del balón proyectado y estará también ligado a la velocidad de enrollamiento, es eficaz y económico, pero puede generar desgaste por fricción si el hilo es muy resistente o si el anillo no tiene el acabado pulido adecuado.

Rompe Balón con Anillo Móvil o Basculante

Se adapta dinámicamente al diámetro del balón, utilizando un brazo oscilante o un sistema con resorte. Este sistema es bastante versátil por su adaptación, reduce la fricción constante en comparación con los sistemas fijos, es ideal para hilos de alta finura o con acabados especiales que requieren un mínimo contacto físico.

Rompe Balón con Aros Cerámicos o Guías de Baja Fricción

Utilizan materiales técnicos como aluminio, zirconia o nitruro de silicio, que ofrecen una excelente resistencia al desgaste y bajo coeficiente de fricción, con lo que garantizan un mínimo atrito entre las superficies, asegurando una mayor durabilidad y menor acumulación de electricidad estática, son muy recomendados para hilos sintéticos y procesos de alta velocidad de producción.

Rompe Balón de Hilo Cruzado (control guiado en cruce de hilo)

Integra un sistema de control que modula la trayectoria del hilo dentro del balón, minimizando su expansión lateral. Normalmente se utiliza en enconadoras automáticas con sistemas de tensión y control de trayectoria integrados electrónicamente, suele trabajar junto a sensores de tensión y frenos activos.

Rompe Balón con Aspiración Integrada

En algunas enconadoras con tecnología avanzada, el sistema de aspiración del hilo contribuye al control del balón mediante succión o redirección de flujo de aire, de esta manera minimiza los loops, churos o lazos de hilo, mejorando la limpieza y estabilizando la entrada al huso.

El ajuste correcto del rompe balón depende del tipo de fibra, del título del hilo, de la velocidad de producción y geometría del paquete deseado, un rompe balón mal calibrado, se puede derivar en enredos, imperfecciones, roturas repetidas e irregularidad en la dureza del cono; por ello, su manipulación en todos los aspectos debe ser conocida por el personal de supervisión, ya que es parte esencial del control de calidad.

En la Tabla 2.1 se presenta un comparativo de rompe balones; está recomendado según el tipo de fibra textil, la justificación técnica está relacionada con parámetros inherentes a las fibras y es un recurso diseñado para facilitar la elección del sistema más adecuado en función de las propiedades físicas y mecánicas del hilo que estamos produciendo.

Tabla 2.1: Comparativa de los Rompe Balones Según el Tipo de Fibra

Tabla comparativa del rompe balón según el tipo de fibra

Tipo de fibra	**Rompe balón recomendado**	**Justificación técnica**
Mezclas (poliéster-algodón)	Anillo cerámico o rompe balón dinámico	Combina resistencia con suavidad; requiere versatilidad en control del balón
Microfibras sintéticas	Rompe balón cerámico con control electrónico	Muy delicadas; requieren mínimo contacto y estabilidad de tensión
Lana - acrílico	Anillo móvil o basculante	Elásticas y voluminosas; el control móvil previene estiramiento excesivo

Nota. Elaboración propia.

2.4. Sistemas de Tensión en las Enconadoras Textiles

En la técnica de enconado textil, la tensión ajustada para el hilo que estamos produciendo es uno de los parámetros operativos más determinantes para lograr un paquete final óptimo y mejorar la eficacia de las fases posteriores del proceso productivo del enconado. Se entiende como tensión a la fuerza con la que el hilo se mantiene durante su transferencia del paquete alimentador al cono o núcleo de destino. Una mala regulación ocasiona malos resultados tanto en la geometría como en la estabilidad del paquete generado. Existen diferentes tipos de tensores, pero el más utilizado es el que indicamos en la Figura 2.8.

Figura 2.8: Sistema tensor de hilo por medio de láminas.



Nota. Fotografía de autoría propia, 2025.

Así, si la tensión es un parámetro demasiado bajo el hilo se va a depositar con poca enmienda o tensado, generando la formación de conos deformes que son inestables e incluso pueden llegar a colapsar en los procesos de manipulación o almacenamiento, los cuales van a permitir el desplazamiento interno de las capas de hilo que vayan quedando, generándose bordes irregulares o cavidades internas, al no permitir el depósito de un buen encrustado; por el contrario, si la tensión es excesiva se incrementan los problemas de rupturas, del debilitamiento y daños en la estructura de los hilos, así como de daños en la coherencia externa mediante aplastamientos, marcas y estiramientos permanentes, sobre todo en hilos muy finos o con un tratamiento superficial. El efecto de una tensión que no sea la correcta no ocurre solo en el momento en el que se produce el bobinado, un paquete mal conformado o con hilo defectuoso incidirá en procesos posteriores como el urdido, el tejido o el teñido, en donde el establecimiento de paquetes estables, planos, con un buen desenrollamiento y sin defectos es necesario. El bobinado de paquetes defectuosos puede generar problemas como tirones bruscos o enganches; además, en caso de que el hilo se retrase en desenrollarse de un paquete en el cono, habrá acumulaciones internas que pueden conducir a paradas de máquinas, pérdidas de productividad y defectos visibles en el tejido final.

Por ende, la selección y calibración del sistema de tensión tiene que hacerse teniendo en cuenta las peculiaridades del hilo, título, naturaleza de la fibra, torsión, tratamiento superficial y, además, las exigencias del proceso de producción y velocidad de la operación. Un control de

tensión bien diseñado garantizará el bobinado uniforme y estable, y evitará roturas de hilo, así como minimizará el desperdicio y la eficiencia global de la producción, de ahí que la tensión controlada en el enconado no sea un parámetro accesorio, sino central en la cadena de valor textil.

2.4.1. Principales Tipos y Sistemas de Tensión en las Bobinadoras Textiles

El control de tensión en el bobinado de hilos es uno de los parámetros operativos más críticos para garantizar la calidad del paquete final y la eficiencia en los procesos posteriores de urdido, tejido, tricotado o confección. En las bobinadoras textiles, el sistema de tensión actúa como un regulador que mantiene constante la fuerza ejercida sobre el hilo durante su transferencia desde el paquete de alimentación hasta el núcleo o cono receptor, compensando las variaciones causadas por cambios en la velocidad, el diámetro del paquete o irregularidades en la materia prima.

Una tensión incorrecta puede generar defectos significativos, si es excesiva, provoca roturas, pérdida de propiedades mecánicas y deformaciones superficiales; si es insuficiente, ocasiona paquetes deformes, colapsos internos o desenrollados irregulares; por esta razón, el diseño y la selección del sistema de tensión en una bobinadora deben considerar variables como el título del hilo, la naturaleza de la fibra, el tipo de torsión, los tratamientos superficiales, la velocidad de operación y la aplicación final del producto.

Los tipos y los sistemas de tensión en las bobinadoras textiles se ordenan en función de su forma de operar y su capacidad de respuesta dinámica, de modo que personalmente encontraremos los tensores mecánicos por fricción, los tensores con muelle o resorte de ajuste, los tensores magnéticos, los tensores electrónicos que utilizan retroalimentación y los tensores neumáticos, cada uno de los cuales presenta un conjunto de características, ventajas e inconvenientes que lo hacen más o menos apto según la exigencia del proceso. Las tendencias actuales del sector van hacia las soluciones electrónicas y adaptativas, que tienen como característica el hecho de regular la tensión en tiempo real y con una intervención muy escasa por parte del operario, principalmente en líneas de alta velocidad y en operaciones para manejo de hilos técnicos o delicados.

En este sentido, el conocimiento de los principios de operación, además de su alcance y limitaciones de cada uno de los sistemas de tensión, no solo es fundamental para optimizar el proceso de bobinado, sino que contribuye a minimizar el desperdicio, a incrementar la regularidad del hilo y también a mejorar, sin duda alguna, el rendimiento productivo de la planta textil.

Tensores Mecánicos por Fricción (tensión fija)

Los tensores mecánicos por fricción, también conocidos como sistemas de tensión fija, son dispositivos sencillos y robustos utilizados para regular la fuerza que se aplica al hilo durante el enconado. Su principio de funcionamiento se basa en el paso del hilo entre dos discos, generalmente metálicos o cerámicos, cuya presión mutua determina el nivel de tensión ejercida. Esta presión se ajusta mediante un tornillo o resorte calibrado, lo que permite fijar un valor constante de fuerza sobre el hilo. La superficie de los discos puede ser lisa o rugosa, e incluso puede estar revestida de una forma específica dependiendo de las características concretas del hilo, así como del destinatario del mismo (control de fricción, etc.). Este tipo de tensor es comúnmente utilizado en los procesos que manejan títulos gruesos o fibras de alta resistencia

como por ejemplo el algodón, el lino o ciertos acrílicos, que por lo general permiten presiones relativamente altas sin comprometer su integridad, lo que permite utilizar un sistema de tensión fija que mantenga un flujo de hilo constante hacia el cono o el núcleo; su tipo de uso en las enconadoras es habitual para hilados industriales, hilos de tapicería o cuerdas delgadas, donde la normalidad y la estabilidad mecánica son más importantes que la respuesta dinámica ante cambios bruscos en la tensión.

Entre sus ventajas fundamentales podemos citar su simplicidad constructiva, bajo costo, facilidad de mantenimiento, estabilidad a bajas velocidades, siendo, por tanto, un tipo de tensor válido para líneas de producción de requerimientos básicos o para procesos intermedios donde no se exigen constantes ajustes. Sin embargo, presentan una desventaja importante, su ajuste es manual y carecen de sensibilidad ante variaciones dinámicas de tensión, como las provocadas por cambios bruscos en la velocidad de bobinado, irregularidades del hilo o fluctuaciones en el suministro. Estos de hilo no son recomendables para trabajos de bobinado a altas velocidades incluyendo hilos delicados ya que estos requieren mayor control de la tensión. Los tensores mecánicos por fricción, (ver Figura 2.9), podemos trabajarlos y son muy efectivos en materiales de no tan alta rigurosidad de calidad, ya que debemos conocer sus limitaciones.

Figura 2.9: Tensor de hilo mecánico.



Nota. Imagen escaneada de *No. 7-V Mach Coner Bobbin-Tray Type* (Muratec, s.f.).

Tensores con Muelle (resorte) Ajustable

Los tensores con muelle ajustable, también conocidos como tensores de resorte, son dispositivos diseñados para regular la tensión del hilo mediante la fuerza controlada de un muelle que actúa sobre una guía móvil o brazo oscilante por donde se desliza el hilo. El principio de funcionamiento se basa en que el resorte, calibrado con un ajuste mecánico, ejerce una presión constante sobre el hilo a través de una superficie de contacto, polea o plato, compensando ligeras variaciones de tracción y manteniendo así una tensión más uniforme que la proporcionada por los tensores mecánicos por fricción. La sensibilidad del propio sistema depende de la dureza, la longitud, el ajuste del resorte, pero también de la propia forma de la guía que transmite la fuerza.

Los tensores de tipo tensor que utilizamos trabajan de manera apropiada en los hilos de título medio a fino, donde son importantes los hilos de poliéster, viscosa, acrílicos finos o mezclas de hilos. Esto nos obliga a buscar un equilibrio entre la fuerza de tensión que aporta la guía y la protección de la estructura del hilo. Tiene la capacidad de adaptarse gradualmente a las variaciones de velocidad o de alimentación, lo que le hace favorable en hilos finos pero resistentes con exigencias de calidad más severas.

Constituye la principal ventaja, la posibilidad de aportar una tensión más estable y uniforme que la de los tensores por fricción, los que llevan a romper los hilos, deformarlos o formar un paquete de hilos irregulares. Sin embargo, presenta una importante desventaja: su calibración es una calibración muy sensible que exige una regulación cuidadosa para no provocar tensiones excesivas ni suaves. Por otra parte, y mecánicamente, ante todo, los elementos más significativos como el resorte son componentes de un mantenimiento periódico, por lo que se debe tener mucho cuidado con la fatiga del material y/o captación de partículas de hilo, ya que puede modificar la sensibilidad del sistema. Los tensores con muelle ajustable son una solución técnica intermedia entre los sistemas de tensión fija y los sistemas electrónicos, y ofrecen un buen comportamiento entre uniformidad de tensión y adaptabilidad, en especial cuando se lleva a cabo una calibración correcta y un adecuado mantenimiento que preserve su condición de funcionamiento.

Tensores Magnéticos

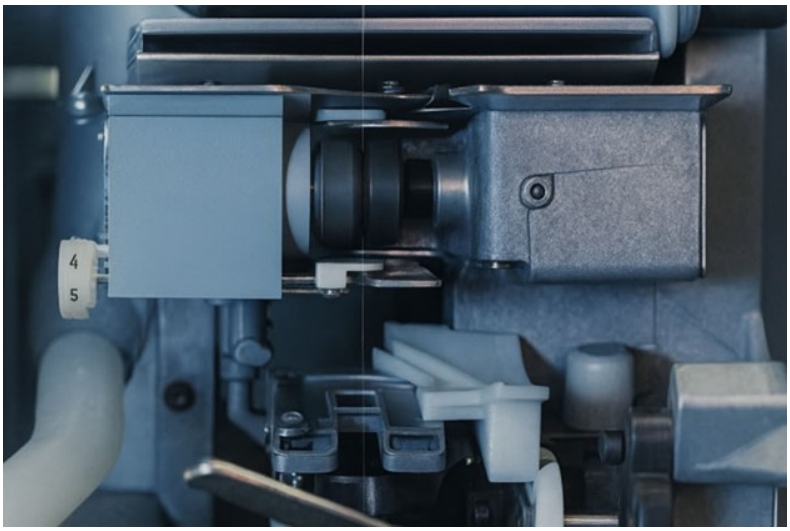
Estos tensores son dispositivos de control de tensión que emplean campos magnéticos para generar una resistencia variable y controlada al paso del hilo, sin necesidad de contacto físico directo con elementos mecánicos de fricción. Su funcionamiento se basa en la interacción entre un campo magnético, producido por imanes permanentes o electroimanes, y un elemento móvil (generalmente un rotor o disco conductor) que se acopla al recorrido del hilo, modo en que se modifica durante el enconado cuando se varía la intensidad del campo magnético, por este motivo, se altera la fuerza de resistencia que contrarresta el avance del hilo, permitiendo de esta forma obtener un ajuste finísimo y muy preciso de la tensión del hilo en el proceso de enconado. Este equipo es utilizado para hilos que requieren un trato diferente con respecto a su delicadeza, entre los cuales podemos citar a los filamentos, microfibras, seda artificial, filamentos ultrafinos continuos y mezclas que requieren un proceso mejor cuidado; ya que, al no tener fricción no vamos a tener daños superficiales ni profundos del material. Su principal ventaja radica en la posibilidad de mantener la tensión del hilo con gran estabilidad aun con variaciones elevadas de la velocidad de bobinado. Es por eso que constituyen una herramienta clave en procesos de alta velocidad o en situaciones en las que la calidad del paquete y la integridad del hilo son fundamentales; únicamente la manera de ajustar la tensión se imprime en medida milimétrica permitiendo adaptarse a diferentes títulos de hilo sin modificar ópticamente ningún componente físico. No obstante, se debe tener en cuenta que poseen algunas desventajas; la primera es que su costo de adquisición es superior al de los tensores mecánicos o de resorte; además, existe el riesgo de que su funcionamiento pueda verse alterado por interferencias electromagnéticas, si bien en un entorno con gran cantidad de equipos electrónicos o motores eléctricos puedan no presentarse las interferencias. Al ser equipos extremadamente sensibles, se necesita cuidados especiales desde su transporte, instalación, calibración, mantenimiento, para de esta forma garantizar la calidad de la lectura referente a su sensibilidad y uniformidad.

Tensores Electrónicos o Activos

Los tensores electrónicos o activos con retroalimentación representan la tecnología más avanzada en el control de tensión de hilo dentro de enconadoras y bobinadoras textiles. Su funcionamiento se basa en la integración de sensores de alta precisión, generalmente de tipo piezoeléctrico, óptico o de galgas extensométricas, que miden en tiempo real la tensión ejercida sobre el hilo durante el bobinado. Estos datos se envían a un sistema de control electrónico (normalmente un PLC o microcontrolador), que procesa la información y ajusta de manera automática el sistema de frenado, presión o control magnético, manteniendo la tensión dentro de un rango preestablecido, como podemos observar en la Figura 2.10.

Este tipo de tensores se utiliza principalmente en las bobinadoras automáticas de gama alta y en los procesos críticos donde es necesario que exista un requisito de uniformidad máxima de la tensión. Tienden a utilizarse en el manejo de hilos finos, hilos de torsión específicos o fibras técnicas de alto valor, tales como aramidas, filamentos de carbono, monofilamentos de gran tenacidad o hilos para la industria médica. Con este tipo de materiales, la tensión puede causar problemas severos en el paquete y pérdida de propiedades mecánicas. La principal propiedad del tensor electrónico es que puede corregir las oscilaciones al instante, aunque cambie bruscamente la velocidad de bobinado, exista un hilo que se suministre irregularmente o cambie la dimensión del paquete que se va a bobinar.

Figura 2.10: Tensor electromagnético.



Nota. Imagen escaneada de Schlafhorst Winding Systems, *Autonocer 338 RM/K/E: El proceso de bobinado controlado por sensor* (S. W. Systems, s.f.).

Sin embargo, presentan desventajas importantes que deben considerarse en la toma de decisión, su alto costo de adquisición e instalación y la necesidad de una calibración precisa y periódica para asegurar la exactitud de las mediciones, de igual manera, su integración requiere personal técnico capacitado y condiciones de trabajo libres de interferencias electromagnéticas excesivas, que puedan afectar la señal de los sensores.

Debemos tener en cuenta que los tensores electrónicos con retroalimentación son la solución más precisa y eficiente disponible para el control de tensión en el enconado textil, aportando estabilidad, uniformidad y adaptabilidad de nivel industrial para aplicaciones donde la calidad del hilo y del paquete final no admite concesiones.

Tensores Neumáticos

Los tensores neumáticos son sistemas de control de tensión que emplean presión de aire como medio principal para ejercer una fuerza regulable sobre el hilo, prescindiendo de la fricción mecánica directa típica de otros dispositivos. Su principio de funcionamiento se basa en el uso de superficies móviles o elementos flotantes, como diafragmas, pistones o placas, que responden a la presión de aire suministrado. A medida que el hilo atraviesa la zona de control, el flujo de aire ejerce una fuerza suave y uniforme, capaz de mantener la tensión deseada sin provocar desgaste o daño mecánico en las fibras. La regulación de la presión del aire permite regular la fuerza que se ejerce, siendo llevada a cabo según las exigencias del hilo y/o la operación.

Este sistema es muy conveniente para el trabajo en hilos sensibles a la intervención de medios directos, como el hilo de lana peinada, los hilos sin torsiones obtenidos por el sistema open-end, los hilos con acabados superficiales especiales, parafinados, encerados, lubricados o siliconados, donde el roce de los hilos con las superficies mecánicas provocarían alteraciones en la estructura y alteraciones en la superficie del hilo, eliminándolo o generando pelusa. Los tensores neumáticos permiten manejar el hilo de forma suave, sin roce duro, lo que permite mantener el hilo limpio y reducir el riesgo de roturas causadas por tensiones concentradas, gracias a la ausencia de fricciones intensas. Entre sus ventajas, cabe mencionar la posibilidad de realizarse sin contacto físico abrasivo, lo que asegura una baja agresión al hilo, así como la posibilidad de realizar un control de tensión estable y constante, incluso en hilos irregulares o con torsiones especiales; además, el diseño contribuye a mantener la limpieza de la línea de producción, ya que el aire también ayudará a eliminar partículas de polvo o pequeñas impurezas que se alojan en la superficie del hilo. Sin embargo, existen desventajas que hay que tener en cuenta a la hora de implementarlas, requieren tener una infraestructura neumática que sea permanente y fiable, con compresores, filtros y reductores de presión en buen estado; y requieren una monitorización continua para asegurar que se mantenga la presión del aire dentro de los parámetros y márgenes establecidos. Un cambio brusco de presión podría influir en la tensión del hilo e interferir en la estandarización del paquete.

Los tensores neumáticos representan una solución altamente especializada para el manejo de hilos delicados o con acabados especiales, combinando control preciso, cuidado del material y limpieza en el proceso, siempre que se cuente con la infraestructura adecuada y se apliquen prácticas de mantenimiento y supervisión constante para garantizar su rendimiento óptimo.

Los mecanismos de tensión en el proceso de enconado no son solo componentes auxiliares o meros sistemas de paso, son sistemas críticos y sensibles que lo que hacen es preservar la integridad del hilo, garantizar la calidad del bobinado y asegurar la eficiencia del proceso textil posterior. La Tabla 2.2 proporciona una visión global sobre la relación entre el tipo de fibra y el sistema de tensión a utilizar, ya que su correcta selección, mantenimiento y calibración son responsabilidades clave del personal técnico que se encuentra a cargo de esta maquinaria.

Tabla 2.2: Comparativa de Tensores de Hilo

Relación entre el tipo de hilo y el sistema de tensión			
Tipo de Hilo	**Fibra**	**Título del Hilo**	**Sistema de tensión recomendado**
Algodón cardado	Natural	Medio	Fricción o muelle
Poliéster texturizado	Sintético	Fino	Magnético o electrónico
Lana peinada	Natural animal	Grueso	Neumático o de resorte
Microfibra de poliamida	Sintético técnico	Muy fino	Electrónico con sensores
Hilo open-end reciclado	Mezcla/reciclado	Grueso/irregular	Neumático o por fricción con tolerancia
Hilo de viscosa modal	Regenerado	Medio/fino	Muelle o magnético

Nota. Elaboración propia.

Capítulo 3

Operaciones y Ajustes

3.1. Parafinado de Hilos Textiles

El parafinado es una operación clave en la preparación de hilos para procesos textiles posteriores; consiste en la aplicación controlada de una fina capa de cera, comúnmente parafina de baja dureza, sobre la superficie del hilo durante el bobinado o enconado. Este tratamiento superficial tiene como finalidad principal reducir la fricción entre el hilo y los elementos mecánicos de las máquinas, tales como guías, agujas, platinas y peines, minimizando así la formación de pelusa *(hairiness)* y la acumulación de motas *(lint)*, especialmente en tejidos de punto y urdimbres finas.

La reducción de fricción gracias al tratamiento con parafina permite que el hilo se deslice más fácilmente al utilizar máquinas de alta velocidad (por ejemplo, tejeduría de punto en trama, máquinas circulares, rectilíneas, equipos de costura industrial) en las que las tensiones dinámicas se elevan, lo que significa un menor desgaste del hilo, menos roturas, así como una producción más eficiente, sobre todo si se trata de hilos textiles hechos con fibras naturales de superficies rugosas, como el algodón o las mezclas de algodón y lino. Por su parte, Shahid & Militky (2020) afirman que una capa bien gestionada de parafina puede llegar a reducir la fricción entre un 20 % y un 40 %, lo cual mejora la alimentación del hilo en tejeduría de punto. En la actividad industrial, el parafinado tiene que calibrarse cuidadosamente para maximizar los beneficios de la lubricación y minimizar los efectos indeseados, como la acumulación de residuos en los componentes de las máquinas o las alteraciones de los procesos de acabados que puedan seguir. El espesor y el tipo de cera utilizada dependen de la naturaleza de la fibra, el título del hilo y el proceso que se lleva a cabo en última instancia (Koranne, 2013).

Las ceras con menor dureza suelen predominar en la aplicación a fibras finas, y las mezclas con aditivos sintéticos se utilizan en hilos técnicos o de alto rendimiento. Los resultados de múltiples estudios (Fang, Chen & Zhang, 2021) corroboran que una combinación de parafinado optimizado y un control electrónico de la tensión en el bobinado contribuye favorablemente a un aumento importante en la calidad de la tela final, con disminuciones de los defectos visibles y aumento de la producción. Esta interrelación entre la preparación del hilo y la calidad de la tela finaliza por reforzar la condición estratégica del parafinado en la cadena de valor textil. El parafinado de un hilo no debe considerarse un tratamiento superficial, sino una importante etapa de acondicionamiento que afecta de forma directa a la funcionalidad mecánica, a la funcionalidad del hilo y a la calidad que ofrece el producto textil acabado. Su interpretación exigirá aspectos técnicos y el conocimiento a fondo de las interrelaciones implicadas entre el hilo, la máquina y el proceso productivo, amparados en la investigación y en las normas actualizadas de contenido industrial.

3.1.1. Características de la Parafina Textil

La parafina textil es un material de origen petroquímico clasificado como un hidrocarburo sólido saturado, compuesto principalmente por una mezcla de alcanos lineales y ramificados de cadena larga, cuyo rango de número de carbonos se sitúa entre C20 y C40 (Koranne, 2013). En la industria textil, su aplicación más extendida se da en el proceso de parafinado de hilos durante el bobinado o enconado, donde actúa como un agente lubricante sólido destinado a reducir la fricción entre el hilo y los elementos mecánicos de las máquinas, incrementando así la eficiencia operativa, la resistencia y la durabilidad del hilo.

Con respecto a su forma de presentar esta parafina textil se puede disponer comercialmente en forma de planchas sólidas para ser puestas en los soportes de las enconadoras, pero también la hay en forma de ruedas, discos, barras, bloques, en función del diseño del sistema de

parafinado de la máquina, adaptando los distintos formatos a las configuraciones mecánicas y garantizando el contacto y la transferencia de cera hacia el hilo (Shahid & Militky, 2020). El punto de fusión es una de sus propiedades más relevantes, que está normalmente situado entre los 50 y 60 °C, aunque puede variar según la formulación y la adición de aceites y/o aditivos. La consideración del punto de fusión es importante, pues presenta un rango de fusión que permite un reblandecimiento leve por la fricción del hilo con la parafina que, por otra parte, es suficientemente elevado para evitar deformaciones o pérdidas relevantes en condiciones normales de almacenamiento (Fang, Chen & Zhang, 2021).

Respecto a su color, la parafina textil suele presentarse en colores blancos, translúcidos o ligeramente opacos, aunque también se puede presentar en ciertos tonos. Esto ocurre cuando se añade colorante al proceso de moldeo a través de anilinas solubles en parafina. Este color puede tener la finalidad de identificar o diferenciar los lotes, pero, del mismo modo, los aditivos de color deben ser mínimos, ya que puede aparecer migración o el depósito en el hilo, que no es como debería aparecer.

La dureza de la parafina puede variar entre dura, media o blanda, dependiendo de la proporción del hidrocarburo y de los aditivos. En aplicaciones industriales, es habitual la reformulación de la parafina mediante la mezcla con aceites vegetales como el de linaza o coco, con el fin de ajustar su dureza y mejorar su capacidad de transferencia. Una parafina más blanda, por ejemplo, es sinónimo de que se aumentó la cantidad de lubricante sobre hilos de superficie rugosa como el algodón, mientras que una más dura es preferible para hilos sintéticos finos donde se requiere una capa más delgada y controlada (Koranne, 2013).

Las características fisicoquímicas de la parafina textil, naturaleza química, presentación, punto de fusión, color y consistencia, son determinantes para su correcta selección y aplicación, como podemos observar en la Tabla 3.1. Un conocimiento de estas propiedades permite optimizar el rendimiento del parafinado, adaptándolo al tipo de hilo, la velocidad de producción y las exigencias del proceso textil posterior.

Tabla 3.1: Características de la parafina textil según su dureza

Clasificación según su dureza		
Tipo de parafina	**Aplicación**	**Características físicas**
Blanda (*Soft wax*)	Tejido de punto, costura, bordado	Alta transferencia, mayor lubricación
Media	Uso general: hilados peinados, tejidos planos	Equilibrio entre deslizamiento y adherencia
Dura (*Hard wax*)	Tejidos técnicos, hilos de alta tenacidad	Transferencia menor, menor manchado

Nota. Elaboración propia

La selección de la dureza depende del tipo de fibra, velocidad de la máquina de destino y naturaleza del proceso posterior. En la Tabla 3.2 están resumidas las recomendaciones de parafinado de acuerdo con la fibra. Este punto es de suma importancia, ya que la cantidad de parafina que depositemos en el hilo está relacionada directamente con el uso que lo vamos a dar a ese material.

Tabla 3.2: La afinidad y necesidad de parafinado varían significativamente según la fibra

Tipo de fibra	Recomendación de parafinado
Algodón cardado/peinado	Requiere parafinado moderado para reducir fricción y pelusa.
Lana y acrílicos	Alta necesidad de lubricación por su pelo superficial.
Poliéster	Menor necesidad por su superficie lisa, pero mejora el comportamiento en máquina.
Viscosa	Puede ser pegajosa; requiere parafina blanda y uniforme.
Fibras mezcladas	Ajuste intermedio de dureza y dosificación.

Nota. Elaboración propia

Como manifestamos anteriormente, la cantidad de parafina aplicada a los diferentes hilos depende del tipo de fibra con la cual esté fabricado el hilo, su destino y del sistema de aplicación, pero se estima que aproximadamente va entre el 0.5 % y el 1.5 % del peso del hilo en la mayoría de los casos; si deseamos ser más específicos, hilos para tejido de punto o bordado de alta velocidad pueden requerir hasta un 2 % de parafina.

Un exceso puede generar problemas de tintura o deslizamiento excesivo; además, en el caso de hilos que van a ser engomados, esta parafina debe ser retirada porque se la puso únicamente para el proceso de tejido; por consiguiente, este material debe ser colocado con mucho control, ya que nos puede traer problemas en la tintura o en un costo excesivo, en tanto que un déficit provoca roturas por fricción.

El control del consumo se realiza pesando los discos de parafina antes y después de la producción, mediante sistemas electrónicos con monitoreo de transferencia o pesando el material antes y después del parafinado.

3.1.2. Formas o Sistemas del Parafinado del Hilo

El parafinado de hilos es una etapa importantísima para la correcta preparación de la materia prima textil, cuya finalidad consiste en aplicar una capa de parafina de una manera uniforme que reduzca la fricción, mejore su resistencia al paso de los elementos mecánicos y disminuya la producción de pelusa durante los procesos relacionados con el tejido o la confección de los productos propios del sector textil. La calidad de la operación de parafinado no solo depende de la cera y de sus características, sino también del sistema utilizado para la aplicación en la bobinadora o enconadora. En la industria textil moderna se identifican distintos métodos de parafinado, cada uno con particularidades operativas, ventajas y limitaciones, que determinan su idoneidad según el tipo de hilo, la velocidad de producción y los requerimientos del cliente final (Koranne, 2013; Shahid & Militky, 2020).

Parafinado por Fricción (mecánico)

Este sistema de parafinado es el más simple y el más tradicional, que no es más que otra cosa que colocar un disco de parafina sólida de tal forma que el hilo roce su superficie en el

bobinado y así se transfiera a la superficie del hilo una fina capa de lubricante. El eje que permite el montaje del disco es generalmente redondo y libre, de forma que pueda dar un giro suave debido al contacto que ejerce el hilo sobre él. Su principal ventaja es la sencillez y el coste reducido en la aplicación, lo que explica su gran popularidad en las instalaciones de pequeña y mediana escala. Sin embargo, también esconde limitaciones como son el hecho de que la transferencia de cera no es uniforme debido a que el desgaste del disco no se da con la misma regularidad, lo que puede derivar en regiones con exceso o deficiencia de parafina y afectar la regularidad del posterior proceso (Fang, Chen & Zhang, 2021).

Parafinado por Presión Controlada

El disco de parafina está montado en un sistema de presión controlada que presiona el hilo mediante un resorte calibrado o un contrapeso. El eje es, normalmente, cuadrado y lo acciona un pequeño motor que garantiza que el hilo gira constantemente y de manera uniforme por medio del mismo, como podemos observar en la Figura 3.1. Esta disposición da mayor uniformidad a la transferencia de cera que el sistema de fricción libre, pues el contacto es constante y controlado, aunque es necesario calibrar de modo periódico para que la presión ejercida sea la correcta, pues de lo contrario, se puede producir desgaste del disco o exceso de aplicación de parafina.

Figura 3.1: Parafinado de hilo con eje cuadrado.



Nota. Imagen escaneada de *HBI Grupo de retracción* (Motocono, s.f.).

Parafinado por Cámara Cerrada (dosificación controlada)

Se encuentra en juego un sistema con alta precisión en bielas y en el que el hilo de la máquina se introduce a través de un canal cerrado que trabaja también con parafina tanto líquida como semilíquida, adecuadamente dosificada mismamente por un control electrónico respecto

de los dos parámetros señalados, pero además en función del tipo de hilo que se esté aplicando. Y así mantenemos una aplicación muy uniforme y que resulta altamente controlada, siendo ideal para hilos finos y delicados. Este hilo se utiliza mayormente en tejidos de calidad y para prendas técnicas, quizás su mayor inconveniente es la implementación de un costo alto y un mayor mantenimiento, asimismo la necesidad de mantener una frecuencia alta de limpieza para evitar acumulaciones, residuos que alteren la dosificación (Koranne, 2013).

Parafinado Electrónico Inteligente

Representa la solución más avanzada y acorde a los principios de la Industria 4.0. Incorpora sensores que monitorean en tiempo real variables como la velocidad de paso del hilo, su tensión y el nivel de consumo de parafina. Con esta información, el sistema ajusta automáticamente la cantidad de cera aplicada, asegurando un parafinado constante, uniforme y trazable a lo largo de todo el proceso; además, permite almacenar y consultar datos históricos para análisis de producción y control de calidad. Su mayor inconveniente es el costo de inversión elevado, si bien se compensa a largo plazo mediante la disminución de merma, el ahorro en consumir parafina y la mejora de la calidad del hilo.

Hay que tener presente que la elección del sistema de parafinado se tiene que fundamentar en un análisis pleno de las características del tipo de hilo, el destino final del producto, el volumen productivo y la capacidad de la empresa. Desde el método mecánico por fricción, simple y económico, hasta el control electrónico inteligente, preciso y totalmente trazable, cada sistema ofrece un equilibrio distinto entre costo, precisión y eficiencia operativa.

El parafinado se realiza generalmente en el mismo curso del enconado, inmediatamente antes de que el hilo se bobine en conos; de esta forma se aprovecha el proceso para optimizar procesos y costos. Una máquina enconadora moderna permite incorporar uno o varios sistemas de parafinado, en función del tipo de hilo.

El parafinado garantiza el rendimiento del hilo en las etapas siguientes y contribuye a disminuir el número de roturas de hilo. Podemos elevar la velocidad de los procesos; estos pueden ser en tejido plano, tejido de punto, bordado. Visualmente, la uniformidad del tejido mejora, ya que se han compactado las fibras fluctuantes; por ende, la superficie de los tejidos se aprecia más plana.

Es importante realizar comparaciones visuales y mecánicas entre hilos no parafinados y parafinados, como una primera instancia; luego, estas comparaciones debemos realizarlas entre hilos parafinados con diferentes porcentajes de cera y con diferentes métodos de trabajo; posteriormente, pasaremos a evaluar la cantidad de parafina residual en el hilo con métodos gravimétricos. Podemos también analizar el efecto del parafinado sobre la resistencia al paso por la aguja y la fricción dinámica que este ejerce. Una de las cosas más importantes es entender la relación entre el tipo de fibra, el título, la torsión y la necesidad de lubricación.

3.1.3. Formulaciones para el Cálculo del Consumo de Parafina

La cantidad de parafina consumida en el bobinado o enconado de los hilos, sistema de parafinado usado, es uno de los parámetros que determinan una buena efectividad del proceso y una buena calidad del cono producido. En este sentido, el consumo de parafina hace referencia o se entiende como la cantidad de materia que queda transferida de la unidad de parafinado al hilo en la unidad de bobinado o enconado, como detalla Koranne (2013), cada vez que se produce un cono, normalmente señalando como un porcentaje respecto al peso del hilo o como gramos de parafina por kilogramo de hilo procesado. El cálculo concreto de este valor permite

no solamente mejorar el rendimiento del material, sino también evitar que el exceso de cera afecte a procesos posteriores como el teñido o el acabado, además de reducir el desperdicio con la consiguiente mejora de la sostenibilidad y de la viabilidad de la operación en cuestión. En términos más técnicos, el cálculo del consumo de parafina en el bobinado o enconado de hilos se basa en ecuaciones que implementan variables como el peso inicial de la parafina, el peso final de la parafina, la cantidad de hilo procesado, la velocidad de bobinado, la tensión de hilo y la fuerza de la superficie de contacto respecto al sistema de aplicación, esto lo podemos sintetizar en la Ecuación 3.1, (Lockuán Lavado, 2012b), donde está una representación sencilla de un cálculo y puede expresarse como:

$$\text{Consumo parafina}(\,\%) = \frac{\text{Peso inicial parafina} - \text{peso final parafina}}{\text{peso total del hilo procesado}} \tag{3.1}$$

No obstante, en un entorno industrial avanzado, la simple diferencia de peso en muchas ocasiones no refleja la realidad operativa, ya que intervienen factores como el coeficiente de transferencia de cera, el grado de dureza de la parafina, su punto de fusión y la presión o fuerza de contacto del hilo con el sistema de parafinado.

Investigaciones recientes, como la de Fang, Chen & Zhang (2021), han demostrado que el consumo ideal para hilos de algodón destinados a tejeduría de punto se encuentra típicamente en el rango de un 0,5 % a un 1,0 % en peso, mientras que para hilos sintéticos de superficie lisa puede reducirse hasta un 0,2 % a un 0,4 %, dependiendo de la velocidad de la máquina y la aplicación final.

Los manuales técnicos de fabricantes de maquinaria, como Savio y Murata, incluyen además ecuaciones corregidas que incorporan el rendimiento de aplicación (η), definido como el porcentaje de parafina efectivamente transferida al hilo frente a la que se pierde por abrasión, evaporación o acumulación en guías. En estos casos, el cálculo se ajusta como está descrito en la Ecuación 3.2 (Lockuán Lavado, 2012b):

$$\text{Consumo efectivo}(\,\%) = \frac{(\text{Peso inicial parafina} - \text{peso final parafina})\eta}{\text{peso total del hilo procesado}} \times 100 \tag{3.2}$$

Donde:

- Peso inicial de la parafina = masa del disco, bloque o pieza antes de iniciar la producción.
- Peso final de la parafina = masa de la parafina remanente después del ciclo productivo.
- Peso total del hilo procesado = suma de las masas de todos los conos o paquetes producidos.
- η (rendimiento) = proporción de parafina transferida efectivamente al hilo (valor entre 0 y 1).

Una correcta estimación del consumo de parafina no solo es esencial para el control de calidad del hilo, sino que también tiene implicaciones medioambientales. El exceso de parafina puede ocasionar depósitos en las máquinas de tejido, incrementar la necesidad de limpieza y provocar paradas por rechazo de producción, mientras que una aplicación por debajo del límite aumenta la fricción y la rotura del hilo. Por esta razón, los sistemas de control modernos cuentan con sensores que miden en tiempo real el consumo de este, además de que en fracciones de segundo ajustan los parámetros del proceso, siendo esta acción consecuente con los principios de la Industria 4.0 y la optimización de recursos.

Las formulaciones para el cálculo del consumo de parafina deben adaptarse a las condiciones reales de producción y al tipo de sistema de aplicación utilizado. El dominio de estas ecuaciones, junto con la interpretación de las variables que intervienen, es indispensable para ingenieros textiles y técnicos de planta que buscan un equilibrio entre rendimiento operativo, calidad del producto y eficiencia de recursos.

3.2. El Purgado

El purgado de hilo se puede definir como el descubrimiento y la exclusión de desperfectos del hilo. Esta tarea se realiza durante el proceso de bobinado, para minimizar los costos en procesos posteriores como la tejeduría. Es esencial eliminar las irregularidades de los hilos. Un purgador eficiente asegura un buen efecto de purgado con menos roturas del hilo (Lockuán Lavado, 2012b).

Las máquinas modernas incorporan, por otro lado, sensores electrónicos, estos censan la masa fibrosa de los hilos, siendo los mismos que la atraviesan, y una ligera variación dentro de los parámetros fijados automáticamente activa las cuchillas que cortan el hilo y la máquina para anudar los extremos del hilo. La cabeza elimina todos los tramos de hilo defectuosos de la bobina.

Las máquinas modernas están equipadas con sensores electrónicos que monitorean la masa fibrosa de los hilos mientras pasan a través de ellas; si se detecta una pequeña variación fuera de los parámetros establecidos, los sensores activan automáticamente las cuchillas para cortar el hilo, y la máquina se detiene para anudar sus extremos. Los purgadores de última generación disponibles en el mercado están completamente integrados con sistemas electrónicos avanzados. El sistema de bobinado electrónico promueve el desarrollo tecnológico continuo del purgado, con el objetivo de que cada cabeza de bobinado funcione como un laboratorio tecnológico que garantice la calidad total del hilado. El ciclo flexible del sistema electrónico ayuda a minimizar las pérdidas de productividad de la máquina debido a estos cortes de calidad. En términos generales, los objetivos del purgado son:

- **Eliminar defectos:** Reconoce y elimina materia extraña que tenga dicho hilo como imperfecciones, partes gruesas, partes delgadas, irregularidades que pueda tener, nudos e impurezas.
- **Prevención:** Estos ayudan a que los defectos de los hilos no se puedan acumular en los mecanismos de las máquinas y que la bobina no salga defectuosa, manteniendo un hilo que cumpla estándares requeridos. Debemos tomar en cuenta que los ajustes del purgador pueden ser muy cerrados cuando el número de cortes es alto; por ende, tenemos pérdida de producción, desgaste de la maquinaria y reducción de la calidad del hilo. Por otro lado, cuando el purgador está muy abierto, la calidad es pobre y producimos hilos de una calidad inferior, dando un producto final con un alto porcentaje de irregularidades.

El purgador de hilos es un dispositivo esencial instalado en máquinas de enconado y/o bobinado y otras etapas intermedias de la hilatura, cuyo objetivo principal es eliminar imperfecciones no deseadas del hilo antes de su utilización. Estos dispositivos actúan como un sistema de inspección y limpieza, eliminando secciones defectuosas del hilo como engrosamientos producidos en la hilatura por diferentes motivos como neps, que no son sino acumulaciones de fibras, adelgazamientos (zonas de baja resistencia) y muchas veces visualmente finas, partículas extrañas (motas, residuos, suciedad), y diferentes irregularidades generadas por defectos o por situaciones propias de una hilatura.

Antes de tratar de forma específica a los purgadores, es importante conocer qué son las irregularidades generadas en los hilos, cómo se las conoce y describirlas brevemente. En la producción de hilos, independientemente de la fibra base (algodón, lana, poliéster, acrílico, lino, etc.) y del sistema de hilatura empleado (anillos, rotor, air-jet, fricción, open end), habitualmente existe la posibilidad de aparición de irregularidades que afectan la uniformidad, resistencia, apariencia y procesabilidad del producto final. Estas irregularidades, que pueden originarse desde la materia prima, en la preparación de la fibra o en la propia etapa de hilatura, deben ser controladas mediante inspección y dispositivos de purgado para evitar que comprometan la calidad del hilo, ya que este es un proceso irreversible. A continuación, se describen las irregularidades más comunes y técnicamente relevantes:

- **Neps**: Son pequeñas motas o acumulaciones de fibras enredadas, formadas generalmente por fibras cortas, fibras inmaduras o partículas de polvo y cera natural, que no se eliminaron durante la apertura y el cardado. Presentan un diámetro superior al promedio del hilo y una superficie irregular, lo que provoca defectos visibles y ásperos en el tejido. Su origen puede estar en la materia prima (alto contenido de fibras inmaduras en algodón), en procesos mecánicos agresivos o en una humedad inadecuada durante el procesamiento. En el producto final, los neps generan puntos blancos en hilados teñidos y alteran la suavidad superficial (Lawrence, 2010).
- **Adelgazamientos**: Son las secciones del hilo con reducción significativa de masa lineal o diámetro, que presentan menor tenacidad y resistencia a la tracción. Estas zonas son puntos críticos de rotura durante el proceso de tejeduría o tricotado, y su origen puede deberse a una alimentación irregular de fibras, problemas de estiraje, deslizamientos en el tren de cilindros o defectos en la torsión. En hilos sintéticos, también pueden producirse por fallos en el control de extrusión o estirado (Saville, 1999).
- **Contaminantes**: Son fibras o partículas ajenas a la fibra base, tales como polipropileno (PP), restos plásticos, fibras sintéticas en hilados de algodón, fragmentos vegetales, polvo carbonizado o incluso insectos muertos. En el caso del algodón reciclado, el riesgo de contaminación es mayor, especialmente por fibras sintéticas procedentes de residuos de confección. Estos contaminantes alteran la apariencia, el teñido y el comportamiento mecánico del hilo, y pueden provocar puntos duros o defectos visuales en el tejido final (Shahid & Militky, 2020).
- **Engrosamientos**: Son secciones del hilo cuyo diámetro y masa lineal superan el rango de tolerancia especificado. Pueden ser puntuales o extendidos, y su origen está relacionado con alimentación irregular de fibras, acumulaciones de material durante el estiraje o problemas en la regulación del sistema de hilatura. Los engrosamientos son especialmente problemáticos en hilos finos para géneros delicados, ya que generan defectos visibles, incrementan la fricción en guías, agujas y pueden provocar paradas en procesos automáticos (Koranne, 2013).
- **Nudos**: Son uniones entre extremos de hilo, generalmente realizadas durante el empalme o reparación de roturas. Los nudos mal hechos, con exceso de volumen o mal posicionados, provocan enganches en peines, agujas o sistemas de guiado, y alteran la uniformidad visual y estructural del hilo. Existen diferentes tipos de nudos (nudo de tejedor, nudo de pescador, nudo simple), pero en la industria moderna se busca reemplazarlos por empalmes neumáticos (splicers) que generan uniones casi imperceptibles (Rengasamy, 2021).

- **Irregularidad de masa** ($CV\,\%$): Además de defectos puntuales, los hilos pueden presentar irregularidades continuas en su masa lineal, que se cuantifican mediante el coeficiente de variación de masa ($CV\,\%$). Un $CV\,\%$ elevado indica variaciones sistemáticas en la alimentación o problemas en el estiraje, afectando la uniformidad de la torsión y la apariencia del tejido.
- **Pelo o "hairiness"**: La presencia de fibras que sobresalen de la superficie del hilo aumenta su rugosidad. Si bien un cierto nivel de pelo puede ser aceptable o incluso deseable en algunos géneros, un exceso puede provocar problemas de fricción, enganches y formación de pelusa en procesos posteriores. El control de fibras fluctuantes se realiza mediante ajustes de torsión, selección de fibras más largas y uso de dispositivos de purgado especializados (Lawrence, 2010).
- **Defectos de torsión**: Incluyen zonas con torsión insuficiente (flojas) o excesiva (apretadas), que afectan la resistencia, elasticidad y apariencia del hilo, ocasionadas por las excesivas fluctuaciones de la velocidad de la cabeza de bobinado.

Es indispensable que identifiquemos y clasifiquemos las diferentes imperfecciones del material, ya que es un insumo de suma importancia para el ajuste y control de calibraciones de la máquina, que a la postre nos entregará un producto de calidad, haciendo que tanto el hilo como las características del cono sean las apropiadas, minimizando el desperdicio.

El ajuste de imperfecciones se basa en un registro llamado CLASSIMAT, que clasifica las imperfecciones según su longitud y grosor para facilitar su manejo. Este sistema define tres categorías que son imperfecciones menores (cortas y pequeñas), medianas (moderadamente gruesas o largas) y graves (gruesas y largas). La calidad del hilo mejora cuando se eliminan defectos de menor longitud y diámetro, aunque esto puede dar como resultado una producción menor por parte de la bobinadora.

El control de las partes gruesas, delgadas y neps se hace mediante un equipo electrónico llamado purgador. Uno de los más utilizados es de la marca USTER; este detecta variaciones de masa. Las variaciones de masa se detectan mediante variaciones de ondas electromagnéticas, las cuales se transmiten a un procesador, que posteriormente se transforman en señales eléctricas. Cuando el purgador detecta estas imperfecciones, un sistema mecánico (cuchillas) de la máquina corta el hilo, elimina el defecto y luego lo empalma (une) mediante un sistema electrónico-mecánico-neumático, así se evitan los nudos que son muy perjudiciales (Esparza, Esparza & Rosero, 2017).

Al ser los purgadores un equipo de suma importancia en el proceso de bobinado, las plantas textiles modernas en su maquinaria deben poseer estos aditamentos, tomando las debidas precauciones para que estos equipos garanticen la uniformidad y la sensibilidad que se requiere, sin importar la forma o manera que realice la lectura pudiendo ser de naturaleza mecánica, electrónica, óptica, electromecánica, capacitivo. . En lo que a calidad estética se refiere, los purgadores permiten mejorar el aspecto del tejido evitando la aparición de rayas, marcas o motas que surgen por defectos que arrastra la hilatura; la homogeneidad en la masa lineal garantiza un tejido uniforme, muy apreciado dentro de la industria textil de la moda y en aplicaciones técnicas. De manera análoga, la eliminación correcta del tipo de irregularidades hace que la cifra de rechazo en el control de calidad deba ser menor, lo que se traduce en un mejor uso de la materia prima y en la contribución a una producción más sostenible con menor desperdicio.

Un hilo limpio y regular facilita que los colorantes puedan penetrar de una forma uniforme, evitando las concentraciones de tensión que puedan dar como resultado diferencias de tono,

y asegurando un comportamiento más estable en acabados mecánicos y químicos; por tanto, el purgado no actúa solamente como una fase de control intermedio, sino que también se puede considerar como un eslabón clave de la cadena de valor textil, para garantizar que el producto final llegue a cumplir las exigencias de calidad, rendimiento y presentación que exige el mercado.

3.2.1. Clasificación de los Purgadores Según su Funcionamiento

En los procesos de bobinado o enconado textil, los purgadores o limpiadores de hilo cumplen una función esencial en la obtención de un hilo de alta calidad, libre de defectos visibles y apto para operaciones posteriores. Estos dispositivos, instalados estratégicamente entre el sistema de tensión y el guiado final hacia el paquete, eliminan nudos, engrosamientos, adelgazamientos, partículas extrañas, fibras sueltas y contaminantes, garantizando una regularidad dimensional y estética acorde a las exigencias del mercado y a normas técnicas internacionales.

De acuerdo al principio mecánico, óptico o electrónico que sirve como base a la detección y/o la eliminación de las irregularidades, la clasificación de los purgadores es la siguiente: los purgadores mecánicos tratan físicamente el hilo cortando o reteniendo los defectos en función del diámetro o la rigidez del hilo; los purgadores ópticos utilizan haces de luz junto a sensores para detectar variaciones de sección o de color; los purgadores electrónicos combinan sensores de gran resolución con sistemas de corte controlados por microprocesadores, permitiendo ajustes de tolerancia y una memoria estadística del defecto (Koranne, 2013; Rengasamy, 2021).

Las ventajas y limitaciones de cada sistema de purgador son la precisión, la velocidad de reacción, la capacidad de discriminación de los defectos, el mantenimiento y el costo de operación. La selección del sistema de purgador responde a factores como el tipo de fibra, el título del hilo, la velocidad de producción o el estándar de calidad requerido y la compatibilidad con el equipo de bobinado. Un purgado ineficiente no solamente afecta la apariencia del tejido final, sino que también afecta la vida útil de los componentes mecánicos y la productividad global de la planta.

Como podemos derivar, la clasificación de los purgadores según su funcionamiento no es un aspecto meramente teórico, sino una herramienta fundamental para la optimización del proceso de preparación de hilos, ya que de su correcta elección depende la calidad, eficiencia y competitividad de la producción textil moderna. A continuación, se hace referencia a los purgadores de hilos básicos.

Purgadores Mecánicos

Los purgadores mecánicos son dispositivos tradicionales empleados en máquinas bobinadoras o enconadoras textiles para la eliminación de defectos de grosor excesivo en el hilo. Su principio de funcionamiento es completamente físico y pasivo, basado en un sistema de dos láminas o placas metálicas debidamente calibradas que conforman una abertura ajustable. El hilo se hace pasar por este espacio durante el proceso de bobinado, y cuando presenta un engrosamiento superior a la tolerancia establecida, el exceso de sección impide su paso y rompiendo instantáneamente el material fibroso; de este modo, se elimina el tramo defectuoso antes de que llegue al paquete final, evitando irregularidades que podrían provocar problemas en el tejido o tricotado posterior (Koranne, 2013).

Una de las ventajas más destacadas de este tipo de purgadores es su simplicidad de diseño y

de calibración, lo que se traduce en facilidad de operación y mantenimiento; además, su costo de adquisición es relativamente bajo en comparación con sistemas ópticos o electrónicos, lo que los hace accesibles para plantas pequeñas y medianas. Sin embargo, presentan limitaciones importantes, entre las que destaca su baja sensibilidad frente a defectos de menor dimensión, como adelgazamientos leves, variaciones en la torsión o la presencia de contaminantes no relacionados con el diámetro; de igual forma, no son eficaces para identificar irregularidades de origen superficial, como neps o fibras cortas adheridas (Rengasamy, 2021).

La regulación del mecanismo de purga es un aspecto clave para el correcto funcionamiento del mismo; dicho mecanismo se regula modificando la separación entre el peine oscilante y el yunque. Este valor de apertura dependerá del tipo de hilo que queramos procesar: para hilos cardados, la separación del peine respecto del yunque es de 1,75 a 2,25D (donde D es el diámetro del hilo); para hilos peinados, más homogéneos, esta separación será de 1,5 a 1,75D. Una calibración inapropiada puede generar cortes innecesarios o, por el contrario, permitir el paso de defectos que deberían ser eliminados (Grover & Hamby, 2011).

El diámetro del hilo es el parámetro de referencia para establecer la abertura del purgador mecánico y debe calcularse previamente. Para este propósito se emplean ecuaciones derivadas de la relación entre el título del hilo (en sistemas como el métrico Nm o el inglés Ne) y la densidad de la fibra.

Por todo ello, podemos afirmar que los mecanismos de purga son una solución práctica y económica para eliminar defectos groseros en hilos textiles, dado que se sitúan en el límite de las instalaciones automáticas de velocidad normal y que los defectos pequeños o delgados más típicos simplemente no los eliminan. No obstante, su desempeño depende en gran medida de una calibración precisa, un mantenimiento regular y un correcto conocimiento de los parámetros del hilo procesado, por lo que su uso eficaz requiere tanto experiencia operativa como comprensión de las variables técnicas que intervienen en el proceso.

Purgadores Electrónicos

Estos purgadores representan uno de los sistemas más avanzados para la detección y eliminación de defectos en hilos textiles durante el proceso de bobinado o enconado (ver Figura 3.2). Su funcionamiento se basa en el uso de sensores de alta precisión, generalmente ópticos o capacitivos, capaces de medir en tiempo real parámetros como el diámetro, la densidad u opacidad del hilo. Aquellos valores que resultan de la comparación inicial se contrastan también con unos parámetros, concretamente con los que el software del purgador tiene preestablecidos, que forman un patrón de referencia estimado de acuerdo con las tolerancias de calidad exigidas para el producto final (Koranne, 2013).

Figura 3.2: Purgador electrónico con sensores ópticos.



Nota. Imagen escaneada de *No. 7-V Mach Coner Bobbin-Tray Type* (Muratec, s.f.).

Dentro de los sensores ópticos, se proyecta un haz de luz que colapse en el hilo en movimiento, antes de ser modificado o se produzcan cambios en el paso o en la dispersión de la luz. Con este tipo de métodos pueden detectarse defectos de motas, neps, suciedad pegada o engrosamientos importantes que cambien la transparencia o el perfil óptico del hilo. Los sensores capacitivos, en cambio, miden la capacitancia eléctrica que se modifica en el momento en el que el hilo pasa entre dos electrodos y, por tanto, pueden detectar los cambios en la masa o densidad del material. Este principio es de gran utilidad para detectar defectos internos o variaciones que no son apreciables por la vista, sino que se deben a contaminantes internos o a un giro diferente que cambien la compactación de la fibra (Koranne, 2013).

Las ventajas de los purgadores electrónicos son varias: proporcionan alta precisión y rapidez en la detección, se pueden ajustar a diferentes títulos de hilo, tipos de fibra y permiten la configuración de un perfil para fibras naturales, sintéticas o mezclas; almacenar datos y estadísticas del proceso de control de calidad e incluso de trazabilidad de la producción. Sin embargo, también tienen desventajas importantes con respecto a los purgadores tradicionales, requieren calibraciones específicas relacionadas con un tipo de hilo establecido, las condiciones de producción, y una inversión inicial considerable, incluso en el caso de versiones integradas con sistemas de monitorización en línea e interfaces de control avanzado (Grover & Hamby, 2011).

En la práctica industrial, la calibración de un purgador electrónico parte del conocimiento preciso de las dimensiones y propiedades del hilo, incluyendo su diámetro. Este puede calcularse a partir de su título en diferentes sistemas de numeración como: Ne, Nm, Tex o Denier.

Purgadores Electrónicos Inteligentes (Smart Clearers)

Conocidos en la industria como Smart Clearers, representan la evolución más avanzada en la tecnología de limpieza de hilos dentro de las operaciones de bobinado o enconado. Su diseño combina sensores de alta precisión (ópticos, capacitivos o combinados) con microprocesadores y sistemas de aprendizaje adaptativo capaces de analizar en tiempo real las características del hilo y diferenciar entre defectos aceptables y no aceptables, basándose en criterios de calidad predefinidos y parametrizados en diferentes softwares especializados disponibles en el mercado (Koranne, 2013; Behera & Shanmugasundaram, 2021).

El principio clave que diferencia a los Smart Clearers de los purgadores electrónicos convencionales es su capacidad de interpretación contextual de defectos; mientras que un purgador electrónico estándar, corta cualquier irregularidad que supere los límites establecidos, los Smart Clearers utilizan algoritmos de análisis de señal y bases de datos de referencia para determinar si un defecto, como una mota o una ligera variación de torsión, compromete el desempeño del hilo en el proceso posterior, esto permite reducir cortes innecesarios, optimizar el aprovechamiento de material y mantener la productividad sin sacrificar la calidad (Rengasamy, 2021).

Muchos modelos actuales están integrados en ecosistemas de Industria 4.0, conectándose mediante protocolos de comunicación industrial (Ethernet/IP, OPC-UA, etc.) a sistemas de gestión de planta (Manufacturing Execution Systems, MES) y plataformas de trazabilidad digital, esto hace posible registrar cada corte, defecto detectado y lote procesado, permitiendo un análisis estadístico avanzado y la identificación de problemas recurrentes en etapas anteriores del proceso productivo, como la hilatura, el hermanado o el retorcido. Las ventajas de los Smart Clearers son evidentes:

- Alta precisión en la detección y clasificación de defectos, minimizando cortes innecesarios.
- Adaptabilidad automática a distintos títulos y tipos de fibras mediante autoajuste de parámetros.
- Integración con sistemas de trazabilidad, generando reportes de calidad en tiempo real.
- Optimización del consumo de hilo, ya que solo se elimina lo estrictamente necesario. Sin embargo, presentan también desventajas o limitaciones, entre ellas:
- Mayor inversión inicial en comparación con purgadores mecánicos o electrónicos convencionales.
- Dependencia de la calibración y su actualización, requiere personal técnico especializado.
- Posible curva de trabajo operativo más larga en plantas que migran de sistemas tradicionales.

En la práctica de la producción textil, el uso de los Smart Clearers se sugiere para producciones de alta exigencia técnica como hilos para tejidos técnicos, géneros de punto finos, hilos para bordado de precisión o aplicaciones médicas donde la homogeneidad y la no existencia de defectos críticos son importantes; a su vez, las máquinas de hilatura en serie continua y gran producción conllevan un ahorro notable de tiempo y de materia prima, sobre todo si se utiliza junto con otros sistemas de control de calidad en línea.

Los purgadores electrónicos inteligentes no solo representan un salto cualitativo en la tecnología de purgado, sino que se alinean con las tendencias globales de digitalización,

automatización y optimización de procesos textiles, convirtiéndose en una herramienta clave para la competitividad en la industria moderna (Shahid & Militky, 2020).

Purgadores Según su Función Específica

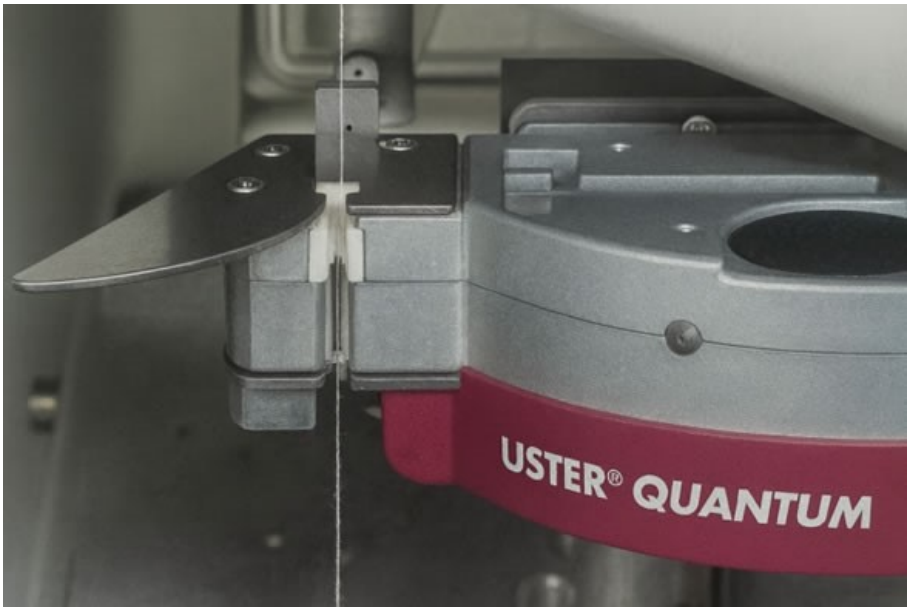
En la tecnología de preparación de hilos para tejido o tricotado, los purgadores no solo se clasifican por su principio de funcionamiento como ya lo explicamos anteriormente: mecánicos, electrónicos, ópticos o inteligentes, sino también por la función específica de detección y/o clasificación de defectos; esta clasificación funcional permite entender cómo cada tipo de purgador responde a una necesidad concreta de calidad y a los requisitos del proceso productivo.

- **Purgadores para Motas** Estos instrumentos están específicamente diseñados para la limpieza de neps o motas, las cuales se localizan en agrupaciones de fibras cortas, fibras inmaduras, residuos de polvo o manipulación que se producen durante el proceso de hilado; los neps hacen que se produzcan irregularidades en la superficie de los tejidos, generando defectos visuales y de tacto, el purgador para motas de hilo trabaja detectando aumentos súbitos de su diámetro, y en sistemas electrónicos detectando la alteración óptica que produce la mota al bloquear la luz en el sensor. Son insustituibles en la producción de hilos para géneros de hilatura fina o para hilos de alta calidad en los que la regularidad superficial es un criterio de calidad primaria (Rengasamy, 2021)
- **Purgadores para Nudos** Su cometido consiste en dar con uniones defectuosas entre los extremos de hilo, sobre todo allá donde han sido unidas manualmente o con técnicas relacionadas con empalmes inadecuados. Nudos demasiado grandes o mal colocados, pueden provocar atascos en agujas, daños en peines o las roturas durante el tejido. En mecánica se detecta el nudo por obstrucción física y, en sistemas electrónicos, como un pico de diámetro anormal con longitud característica identificativa frente a una mota. Se emplean en unas etapas del proceso donde la regularidad del diámetro es importante, como hilos para bordado continuo o en tejeduría de punto (Koranne, 2013).
- **Purgadores para Contaminantes** Son equipos que tienen una doble aplicación, ya que son particularmente relevantes en la industria del algodón reciclado y, por otro lado, en hilados de fibras naturales mezcladas con fibras recuperadas, ya que tienen una capacidad de purgado diseñada para la extracción de partículas no deseadas, como polipropileno (PP), restos plásticos, tamaños de fragmentos vegetales y otras impurezas inadecuadas. En el caso de los sistemas ópticos, se establece la detección por contraste de color y opacidad; en sistemas capacitivos, que se miden gracias al papel de variación de densidad y constante dieléctrica, la aplicación de este tipo de purgado resulta muy importante para garantizar la calidad del proceso (Shahid & Militky, 2020).
- **Purgadores para Adelgazamientos** El sistema también está diseñado para detectar zonas debilitadas del hilo, que están caracterizadas por un diámetro inferior al diámetro normal o por una tenacidad baja. Estas zonas son puntos de elevada probabilidad de rotura durante su utilización en los procesos siguientes, y la identificación puede lograrse empleando la reducción de masa analizada por un sensor capacitivo, o bien empleando el descenso en la absorción de la luz analizada por sensores ópticos. Al respecto, en hilos de una menor sección, se pueden generar adelgazamientos del hilo que son sin duda casi imperceptibles a simple vista; sin embargo, la identificación temprana de los mismos evitará las interrupciones del proceso de manufactura, que son costosas en términos

económicos, si se producen durante el procesamiento de hilos de alta velocidad (Murata Machinery, 2021).

- **Purgadores Multifuncionales** Estos purgadores mantienen en una única unidad la potencialidad de detectar y suprimir todos los defectos mencionados anteriormente: motas, nudos, contaminantes y adelgazamientos. Los modelos más evolucionados integran sensores ópticos junto con sensores capacitivos más un software de clasificación inteligente (Smart Clearing) como indica la Figura 3.3, permitiendo la posibilidad de parametrizar perfiles de purgado como los que sean específicos para el hilo que se trate en cada momento y para un cliente concreto. Resultan ser la opción más apropiada para las fábricas modernas, las cuales producen múltiples calidades de hilo en una misma unidad productiva, en cuanto a optimizar los tiempos de cambio de lote y de mantener la calidad garantizada (Sanjay & Gupta, 2021).

Figura 3.3: Purgador multifuncional.



Nota. Imagen escaneada de *Schlafhorst Winding Systems*, Catálogo *Autoconer 338 RM/K/E* (S. W. Systems, s.f.).

Debemos entender que la elección del purgador en función de su tarea no se plantea únicamente desde el punto de vista de la tecnología de detección que se utilice. De otro lado, al igual que lo descrito en los párrafos anteriores, el hilo, la utilización final del mismo y los estándares de calidad de resultado igualmente influyen. La correcta inclusión de los equipos de purgador en el proceso de bobinado da como resultado la obtención de hilo en bobinas, libre de fallas y que permite su posterior uso sin problemas.

3.2.2. Partes y Componentes Principales de un Purgador Textil

Los purgadores textiles son dispositivos de alta precisión que forman parte de los procesos de bobinado o de enconado y que permiten la detección y eliminación de fallas del hilo antes de que el hilo quede recogido en la bobina. Si bien el tipo de purgador puede variar en función de

la tecnología de detección que se utilice, pudiendo ser mecánica, óptica, capacitiva, electrónica o inteligente, la mayoría de los modelos de purgadores industriales actuales presentan una estructura en la que se identifican los siguientes elementos.

Sensor de Medición

Es una parte crítica de la estructura de detección: su función es la de medir en tiempo real parámetros críticos del hilo, tales como el grosor, la densidad, la opacidad, la variación de su masa lineal. Los sensores pueden ser:

- Ópticos: utilizan un haz de luz LED o láser que atraviesa el hilo, o que incide en él, detectando variaciones de la transmisión o de la reflexión de la luz; son especialmente apropiados para detectar todo defecto visible, como motas, nudos o contaminantes de un color distinto.
- Capacitivos: miden la variación de la capacitancia eléctrica, al pasar el hilo entre dos electrodos, para detectar variaciones de su masa o de su densidad, incluso si no son detectables externamente o visualmente.
- Combinados: son los que emplean las dos tecnologías para ampliar el rango y la precisión de la detección. Estos sensores necesitan de calibración exacta y limpieza periódica, a fin de no tener falsos positivos, para asegurar la fiabilidad de la medida (Koranne, 2013).

Unidad de Corte

Al detectar el sensor un defecto que supera los valores de tolerancia, la señal se dirige a la unidad de corte que detiene el hilo defectuoso. Esta unidad puede ser de:

- Electromecánica: cuyas cuchillas son movilizadas por solenoides eléctricos que practican, a modo de ejemplo, el corte instantáneo.
- Neumática: cuyas cuchillas son movilizadas por aire comprimido, que se usan como cortadores en purgadores de alta velocidad por su rapidez de respuesta. La precisión de las cortes es determinante para no eliminar hilo de forma excesiva y para que la línea del extremo obtenido sea correcta para realizar el empalme posterior.

Sistema de Aspiración

Una vez que se ha segmentado el exceso de hilo, un sistema de aspiración extrae el hilo cortado para que no pueda volver al sistema de enrollamiento de la máquina que lo está procesando, este sistema se encuentra asociado a un circuito de vacío, que puede ser central o un aspirador individual; además de eliminar el hilo defectuoso, también ayuda a mantener la zona de detección y corte limpia y alarga la vida útil de los elementos mecánicos y electrónicos.

Pantalla o Interfaz de Control

Es el centro de interacción o cerebro entre el operario y el purgador, puede ser una pantalla LCD, táctil o una interfaz física con botones y LED indicadores. Es desde aquí donde podemos y debemos realizar la programación de los diferentes parámetros de las diferentes calibraciones de los purgadores; entre algunos, podemos citar las siguientes:

- Programar los valores de tolerancia para cada tipo de defecto (engrosamientos, adelgazamientos, nudos, motas y contaminantes).
- Seleccionar perfiles de purgado específicos según el tipo de hilo, título y fibra.
- Visualizar estadísticas como número de cortes, metros purgados, porcentaje de rechazo y tendencias de defectos.
- En sistemas avanzados, la interfaz se conecta a redes de gestión (MES o ERP) para el control centralizado y trazabilidad en entornos de Industria 4.0 (Shahid & Militky, 2020).

Guía Hilos de Entrada y Salida

Dichos elementos mecánicos aseguran que el hilo viaje alineado y a la tensión adecuada para ser procesado por el sensor y el cortador; para ello, estos elementos han sido diseñados con materiales de muy baja fricción (cerámica, acero pulido, titanio o polímeros técnicos), para así evitar el desgaste del hilo e impedir variaciones que puedan ocasionar falsas detecciones. El diseño de la geometría de los guías de hilos también ayuda a estabilizar el material mientras se continúa con el análisis de defectos.

Dispositivo de Empalme Automático (opcional)

En los purgadores de última generación, después del corte del hilo que presenta un defecto, un empalmador automático une el final del hilo con el inicio del nuevo tramo, lo cual puede ser llevado a cabo utilizando aire comprimido o vapor. Las consecuencias de esto son que se recupera el flujo de producción sin ninguna intervención manual, por lo que se disminuyen o minimizan las paradas del proceso, incrementando así la producción. Los empalmadores más innovadores se ajustan al tipo de hilatura, logran sellos tan perfectos que resultan casi imperceptibles al tacto o a la vista (Rengasamy, 2021).

Módulo de Alimentación Eléctrica y Neumática

Es un sistema ligado a la máquina que nos genera tanto la energía y/o el aire comprimido necesario; según sea el caso, para que la bobinadora funcione de manera adecuada y de acuerdo a las necesidades particulares de la maquinaria.

Estructura y Carcasa Protectora

El conjunto de todos estos elementos está protegido por una carcasa metálica o de polímeros técnicos, diseñada para resistir el ambiente textil (polvo, vibraciones, variaciones de temperatura). La carcasa también cumple funciones de seguridad, evitando el acceso accidental a partes móviles o cortantes. Al ser el purgador textil, un equipo mecatrónico de alta precisión que integra sensores, mecanismos de corte, sistemas de extracción, interfaces de control y elementos de guiado, trabajando de forma coordinada para eliminar defectos y garantizar la regularidad del hilo antes de su uso en procesos posteriores, su configuración exacta dependerá de la tecnología, el tipo de hilo procesado y los estándares de calidad exigidos, no debemos olvidar la constante capacitación del personal a cargo de estos elementos.

3.2.3. Utilización y Ajustes Mecánicos de Purgadores Textiles Según el Tipo de Fibra e Hilo

El ajuste de los purgadores textiles constituye una de las operaciones más críticas en la etapa de preparación de hilos para preparar al hilo a los procesos posteriores. Una calibración inapropiada puede derivar en dos problemas opuestos: una eliminación excesiva de material, con pérdida de rendimiento y sobrecostos, o la no detección de defectos críticos que comprometan la calidad final del producto, la calibración de los purgadores debe considerar factores como el tipo de fibra, el título del hilo, la aplicación final y la tolerancia de defectos permitida por el estándar de producción (Rengasamy, 2021).

Hilos de Algodón Cardado

Siendo el algodón una fibra natural vegetal, el porcentaje de impurezas es bastante más que una fibra hecha por el hombre, teniendo mayor cantidad de fibras cortas y por lo tanto en el proceso de hilatura se generan mayor cantidad de neps especialmente cuando se realizan hilos en el sistema cardado, siendo indispensable que los purgadores en estos casos sean calibrados con una mayor sensibilidad, sin importar la naturaleza del mismo. De manera especial debemos referirnos a los purgadores electrónicos u óptico-capacitivos, los cuales debemos primeramente obtener datos estadísticos para poder calibrarles de mejor manera dada la incidencia de paros que eventualmente pueden llegar a tener.

Hilos de Algodón Peinado

Con respecto al hilo de algodón peinado, el proceso ha eliminado la mayor parte de las fibras cortas, de modo que se obtiene un hilo mucho más regular y uniforme, de manera que permite ajustar los purgadores y establecer parámetros mucho más rigurosos de trabajo, disminuyendo así el umbral mínimo de tolerancia para los engrosamientos y las contaminaciones.

- Ajuste recomendado: Para la apertura en purgadores mecánicos, entre 1,5 y 1,75 veces el diámetro del hilo; en purgadores electrónicos, programación de sensibilidad entre media alta y media, pero con menor frecuencia de corte que en el cardado.
- Consideración técnica: La elevada homogeneidad hace que cualquier defecto que permanezca pase a ser bastante más visible en el producto final, y más si se trata de géneros finos o de colores claros.

Hilos Sintéticos (poliéster, nylon)

Los hilos sintéticos producidos mediante hilatura por fusión o hilatura de filamentos continuos presentan uniformidad dimensional y regularidad superficial elevadas; por ello, cualquier defecto, por mínimo que sea, destaca de forma notable en el tejido final. El ajuste debe buscar un mínimo de cortes, pero con una alta discriminación de defectos críticos.

- Ajuste recomendado: Umbrales de corte muy ajustados, eliminando únicamente defectos que superen la tolerancia mínima, evitando cortes innecesarios. En purgadores electrónicos inteligentes, se pueden activar modos de análisis fino y perfiles específicos para fibras sintéticas dependiendo del grado de purgado.
- Consideración técnica: Debido a que la superficie es lisa y con bajo coeficiente de fricción, algunos defectos pueden pasar desapercibidos en sensores ópticos básicos; por ello, se recomienda utilizar combinaciones óptico-capacitivas.

Hilos Mezclados (poliéster-algodón, viscosa-lino)

Los hilos mixtos presentan un comportamiento cambiante ante los sensores debido a que combinan características de fibras naturales y sintéticas; siendo en estos casos necesario llegar a un consenso en los parámetros de calibración que garantice la sensibilidad a defectos y una tolerancia a las variaciones que conllevan el rechazo de defectos aceptables si no son conocidos por el proceso posterior, pero sí aquellos defectos que pueden causar la ruptura de los hilos o defectos visuales incuestionables.

Hilados Técnicos o Especiales

En hilos para aplicaciones técnicas, como hilos para geotextiles, cordones de alta tenacidad, hilos conductivos para aplicaciones médicas o de seguridad, la tolerancia de defectos suele ser extremadamente baja; además, pueden requerirse purgadores con sensibilidad ultrafina o con capacidad de diferenciación por color para detectar variaciones que afecten propiedades funcionales.

- Ajuste recomendado: Sensores de última generación con análisis en tiempo real y algoritmos de clasificación adaptativos (Smart Clearers). Los niveles de purgado hay que definirlos de acuerdo con ensayos de desempeño determinados y no únicamente con los parámetros geométricos inherentes a la definición de un hilo.
- Consideración técnica: es de vital importancia la conexión con sistemas de trazabilidad e instalación de un control de calidad a la línea de producción y a intercambio de documentación de una referencia de producto y el cumplimiento de la normativa en sectores como el médico y el aeronáutico (Shahid & Militky, 2020).
- La correcta instalación, reglaje, ajuste o calibración de los purgadores según el tipo de fibra y características de hilo no ha de considerarse como un estándar sino como una actividad técnica que necesita de un análisis previo del material, del conocimiento de sus características y de la experiencia en calibración de estos equipos. Un purgador bien calibrado no solo elimina defectos críticos, sino que optimiza el rendimiento del hilo, reduce desperdicios y asegura la uniformidad que puede ser necesaria a procesos posteriores de alta exigencia. En el contexto industrial moderno, estos ajustes se benefician de la incorporación de tecnologías de detección inteligente, integración con sistemas digitales y análisis estadístico de defectos para una optimización continua, para lo que hemos generado una tabla comparativa de los diferentes tipos de purgadores de hilo, Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Tabla Comparativa de Tipos de Purgadores de Hilo

Tabla Comparativa de Tipos de Purgadores de Hilo						
Tipo de purgador	**Principio de funcionamiento**	**Defectos que detecta**	**Precisión**	**Ventajas**	**Limitaciones**	**Aplicaciones típicas**
Mecánico	El hilo pasa por una ranura o entre discos; si hay engrosamientos, se corta físicamente.	Engrosamientos visibles, nudos grandes	Baja	Bajo costo, simple, no requiere energía eléctrica	No detecta defectos finos ni contaminantes, desgaste mecánico	Hilados básicos, procesos manuales o de bajo costo
Electrónico u óptico	Utiliza sensores de luz (LED o láser) que detectan cambios en opacidad o volumen al paso del hilo.	Motes, neps, contaminantes, irregularidades visuales	Media a alta	Precisión visual, apto para hilos claros u oscuros	Puede verse afectado por polvo o suciedad en el sensor	Hilos de algodón, viscosa, mezcla
Electrónico o capacitivo	Mide cambios en la capacitancia cuando varía la masa del hilo, sin importar su color.	Engrosamientos, adelgazamientos, neps internos	Alta	Detecta variaciones internas, no influido por color o transparencia	Menos eficaz en contaminantes de diferente naturaleza (plásticos, vegetales)	Hilos de fibras sintéticas, mezcla precisa
Electrónico o combinado	Integra sensores ópticos y capacitivos, con lógica programable que decide según ambos criterios.	Defectos visuales y estructurales simultáneamente	Muy alta	Cobertura completa, versatilidad, ajustes dinámicos	Mayor costo, requiere programación y mantenimiento especializado	Hilos para tejidos finos, técnicos o de alta calidad
Inteligente (Smart clearer)	Usa microprocesador, software, estadística y memoria para clasificar defectos	Todos los anteriores, con mayor discriminación y autoaprendizaje	Extrema-damente alta	Adaptativo, reducción de falso rechazo,	Alto costo, dependencia tecnológica, necesita integración	Hilos premium, hilaturas automatizadas, Industria 4.0

Nota. Elaboración propia.

Existen algunos parámetros para clasificar estos defectos. Uno de los más reconocidos son las estadísticas USTER. Su sistema de clasificación según su tamaño y longitud está expuesto en veintitrés clases estándar, las cuales se usa ampliamente para certificar la calidad del hilo (USTER, 2022).

Las estadísticas no son sino un sistema de coordenadas donde (x) representa la longitud y (y) el tamaño: además, se usan las casillas para representar las clases según la regularidad. Según USTER CLASSIMAT las clases de defectos del hilo a su vez se dividen en, Tabla 3.4.

Tabla 3.4: Clases de defectos del hilo

Tipo	**Longitud (cm)**	**Sección (%)**	**Calidad**
Partes gruesas y cortas	$0{,}1 - 1$	$(100 - 150)$	A1
		$(150 - 250)$	A2
		$(250 - 400)$	A3
		> 400	A4
	$1 - 2$	$(100 - 150)$	B1
		$(150 - 250)$	B2
		$(250 - 400)$	B3
		> 400	B4
	$2 - 4$	$(100 - 150)$	C1
		$(150 - 250)$	C2
		$(250 - 400)$	C3
		> 400	C4
	$4 - 8$	$(100 - 150)$	D1
		$(150 - 250)$	D2
		$(250 - 400)$	D3
		> 400	D4
Hilos dobles	> 8	> 100	E
Partes e hilos gruesos	$8\ a\ 32$	$45 - 100$	F
Partes e hilos gruesos	> 32	$45 - 100$	G
Partes delgadas	$8\ a\ 32$	$30 - 45$	H1
Partes delgadas	> 32	$45 - 75$	H2

Nota. (Lockuán Lavado, 2012b).

Curva de Purgado

En los procesos de bobinado o enconado, la curva de purgado constituye una herramienta gráfica y analítica que permite establecer los límites de aceptación o rechazo de defectos en el hilo; esta curva se basa en la relación entre la longitud y la amplitud del defecto (o variación de masa/diámetro), definiendo qué irregularidades se consideran tolerables y cuáles deben ser

eliminadas mediante el sistema de purgado.

Lockuán Lavado (2012b) afirma que los defectos que se encuentran dentro de la curva son tolerables, ya que no afectan significativamente el rendimiento de la máquina ni la calidad final del hilo y/o tejido, mientras que aquellos que quedan fuera de la curva se clasifican como no tolerables y deben ser eliminados automáticamente.

La curva de purgado se genera a partir de datos estadísticos obtenidos por el sensor del purgador, ya sea óptico, capacitivo o combinado, que mide variaciones instantáneas de diámetro o masa lineal; estos datos se representan en un gráfico donde:

- Eje X: la longitud del defecto (mm o cm)
- Eje Y: Magnitud de la variación respecto al valor nominal del hilo, en porcentaje, o diámetro relativo.

La curva delimita una zona de aceptación *(tolerancia)* y una zona de rechazo *(purga)*. Los defectos cortos, pero muy abultados, así como los largos con una desviación significativa, suelen ubicarse fuera de los límites de tolerancia.

Los defectos tolerables son fallas con variaciones menores, de corta duración o escasa magnitud, que no interfieren en procesos posteriores. Por ejemplo, un leve engrosamiento en un hilo grueso para tejido de tapicería puede ser imperceptible en el producto final.

Los defectos no tolerables, son fallas que generan roturas, problemas de alimentación, defectos visibles en el tejido o fallos funcionales en hilos técnicos. Estos incluyen engrosamientos pronunciados, adelgazamientos severos, nudos voluminosos y contaminantes fuertes.

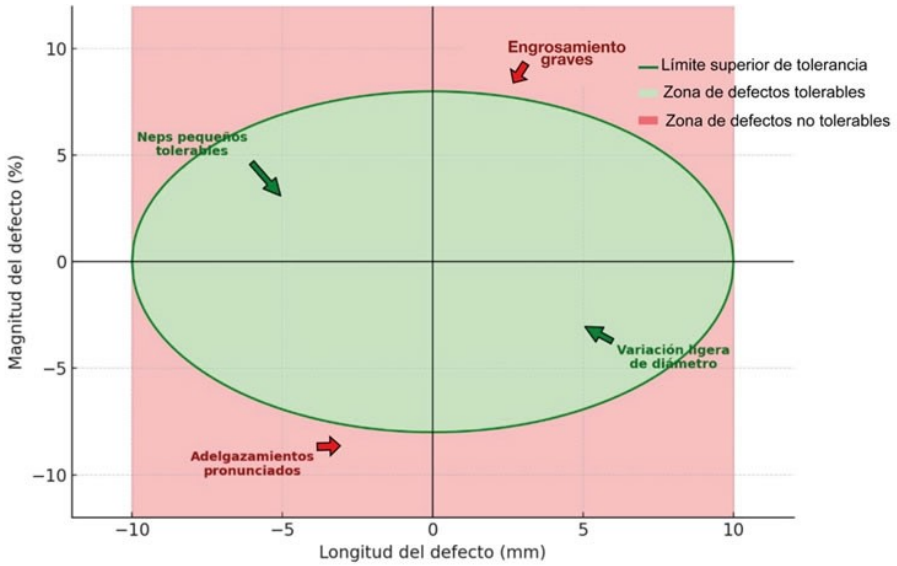
La configuración de la curva de purgado debe adaptarse al tipo de fibra, donde debemos tener en cuenta que el algodón cardado admite un nivel de irregularidad mayor que el poliéster filamento. Los hilos finos requieren tolerancias más estrictas que hilos gruesos. Hilos para bordado, géneros de punto fino o uso médico exigen curvas de purgado cerradas por la misma calidad del producto final; hilos para tejeduría industrial pueden tolerar parámetros más amplios. Debemos tener en cuenta que la velocidad de bobinado y el tipo de purgador influyen en la detección y reacción ante defectos.

El análisis de la curva no solo sirve para eliminar defectos, sino también como herramienta de diagnóstico en planta, un incremento de puntos fuera de la curva en una determinada zona de longitud/magnitud puede indicar problemas en la hilatura, desgaste de componentes o variaciones en la materia prima.

La práctica industrial pone en funcionamiento la curva de purgado a partir de unas pruebas previas con muestras de hilo los cuales se obtiene de un equilibrio entre calidad del hilo (menos número de defectos en el hilo preparado final), productividad (no cortamos excesivamente el hilo que da lugar a una producción lenta) y finalmente rendimiento económico (minimizamos el desperdicio de hilo de purga innecesario).

La curva de purgado textil, (ver Figura 3.4), es un dato de control fundamental que une directamente la detección automática de defectos con la estrategia de calidad que ha establecido la empresa, la correcta puesta a punto de la curva de purgado depende de la combinación del tipo de hilo, del consumo final, de la tecnología de purgado utilizada y de las tolerancias de calidad fijadas por el cliente, una mala calibración puede llevarnos a estimular pérdidas económicas considerables (ya sea por sobre purgado de hilos o bien por incluir defectos en el hilo).

Figura 3.4: Curva de purgado textil.



Nota. Elaboración propia.

Consideraciones para un Purgado Adecuado

El grado de limpieza depende de la sensibilidad del purgador; donde, una baja sensibilidad, elimina pocos defectos, ocasionando una limpieza pobre. Una alta sensibilidad elimina casi todos los defectos, pero puede reemplazar defectos menores con nudos o empalmes, lo que puede ser antieconómico. Para calcular el grado de limpieza de un hilo, podemos utilizar la Ecuación 3.3 (Lockuán Lavado, 2012b).

$$\text{Grado de limpieza}(\,\%) = \frac{\text{Número de defectos objetables extraídos}}{\text{Número total de defectos objetables del hilo}} * 100 \tag{3.3}$$

Otro de los datos a considerar es el factor de nudo. Este factor (fn), según Campens 2021, mide la relación entre los nudos necesarios y los generados. Para obtener el dato podemos utilizar la Ecuación 3.4 (Lockuán Lavado, 2012b), donde:

- Baja sensibilidad: Indica $fn \approx 1$, ya que solo se generan nudos para defectos evidentes.
- Alta sensibilidad: Indica $fn > 1$, debido a la creación de nudos adicionales, al eliminar defectos menores que podrían ser tolerables.

$$\text{Factor nudo}(\,\%) = \frac{\text{Número de nudos en el hilo purgado}}{\text{Número de nudos justificados que reemplazan a defectos objetables}} * 100 \tag{3.4}$$

3.3. Sistemas de Unión de Hilos, Anudado, Empalme o Splicer

Un empalme o splicer es el proceso o dispositivo mediante el cual se unen dos extremos de hilo para formar una continuidad lineal sin necesidad de hacer un nudo. La unión debe garantizar resistencia, uniformidad y compatibilidad con procesos posteriores como el bobinado, el urdido, el tejido, o el teñido. El objetivo principal es asegurar que la unión no afecte la funcionalidad ni la estética del hilo en su destino final, en las máquinas modernas los sistemas son muy compactos teniendo algunas funciones en equipos muy pequeños como se representa en la Figura 3.5, donde en tan mínimo espacio de equipo podemos tener el tensor de hilo, el purgado y el empalmador o anudador

Figura 3.5: Tensor de hilo, anudado y purgado.



Nota. Imagen escaneada de *No. 7-V Mach Coner Bobbin-Tray Type* (Muratec, s.f.).

.

El empalme en la industria textil es de suma importancia, ya que los diferentes procesos productivos (bobinado, urdido, tejido) se realiza en forma continua, garantizando la uniformidad del material; por ende, eleva la eficiencia de las máquinas evitando los defectos visibles y/o voluminosos que podrían causar fallas en el tejido o en la tintura; de esta manera, garantizamos la uniformidad de los hilos en lo referente a título, torsión y resistencia; a más de estas bondades, reduce los tiempos improductivos, permitiendo automatizar la producción con menores intervenciones humanas.

Los empalmes están direccionados a la naturaleza de las fibras textiles y a los tipos de hilos, si son hilos simples o hilos retorcidos con diferentes cabos; además, es importante tomar en consideración la evolución tecnológica que se ha desarrollado en este tema.

3.3.1. Anudado Textil Manual

El anudado manual o empalme manual con nudo constituye uno de los métodos más antiguos y sencillos para unir dos extremos de hilo en los procesos textiles, aunque actualmente su uso ha disminuido drásticamente en la industria debido a la adopción de sistemas automáticos de empalme (splicer) y técnicas de unión sin nudo, este método sigue siendo relevante en entornos artesanales, reparaciones de emergencia o en condiciones donde no se dispone de maquinaria especializada.

El principio de funcionamiento básico consiste en realizar un nudo a mano que une los extremos de dos hilos para asegurar su contracción mecánica y evitar que en procesos posteriores se produzcan rupturas. A pesar de la sencillez de la operación de anudado manual, es necesaria una ejecución precisa para evitar que aparezcan más defectos visibles o minimizar aquellos defectos y para que la ejecución del nudo no altere las propiedades mecánicas del hilo en gran medida. El control de la longitud como parámetro de calidad más relevante se basa en la medida de las prolongaciones del nudo que deben ser siempre más cortas que 7 mm para evitar enganches y defectos en el tejido final (Lawrence, 2010). En la industria textil moderna, el anudado manual se emplea principalmente en:

- Talleres artesanales y producción a pequeña escala.
- Reparaciones rápidas en procesos de urdido o tejido cuando no se dispone de un empalmador mecánico.
- Procesos experimentales o de investigación en laboratorios textiles.

En hilos simples, especialmente de algodón o mezclas con fibras cortas, este sistema puede ser suficiente para garantizar continuidad productiva en situaciones puntuales. Sin embargo, en hilos de alto valor, finos o técnicos, la presencia de nudos visibles constituye un defecto grave que puede ocasionar rechazos en la inspección final.

El anudado manual no requiere maquinaria, instalación o equipo especial, lo que lo convierte en una solución accesible y de bajo costo: además, puede ejecutarse en prácticamente cualquier entorno de trabajo; no obstante, presenta limitaciones significativas:

- Volumen excesivo del nudo en comparación con el diámetro nominal del hilo, lo que provoca enganches en agujas, peines o guías.
- Defectos visuales en el tejido, especialmente en géneros lisos, finos o de alta densidad.
- Menor resistencia en la zona del nudo, que puede ser un punto crítico de rotura bajo tensión repetitiva.

Tipos de Nudos Manuales Utilizados en la Industria Textil

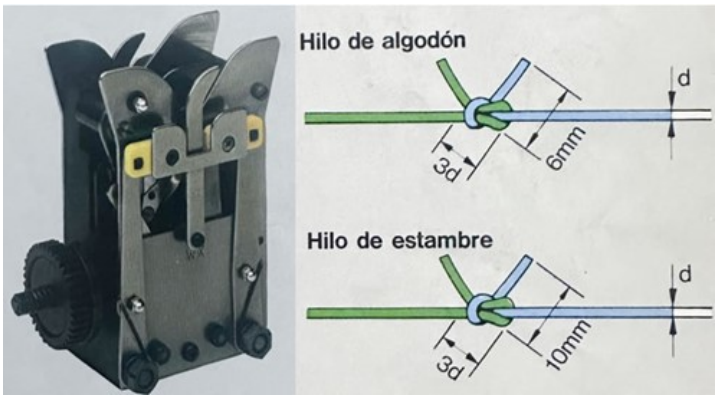
Aunque existen múltiples variantes de nudos en el ámbito textil, en el contexto industrial los más empleados son:

- **Nudo Simple (Overhand Knot)**: Es el más básico y rápido de realizar. Consiste en entrelazar un extremo del hilo sobre sí mismo y apretarlo, si bien ofrece una resistencia aceptable en hilos gruesos, su volumen y dureza lo hacen poco apto para hilos finos o de alta calidad (Rengasamy, 2021).
- **Nudo Doble (Double Overhand Knot)**: Variante del nudo simple con una segunda vuelta antes de apretarse. Proporciona mayor resistencia, pero incrementa el volumen y la rigidez

del punto de unión. Se utiliza cuando se busca mayor seguridad en la unión, por ejemplo, en hilos de algodón cardado de títulos bajos.

- **Nudo de Tejedor (Weaver's Knot)**: Diseñado específicamente para la industria textil, es más compacto y menos voluminoso que los anteriores, facilitando el paso del hilo por las guías y reduciendo la probabilidad de defectos visibles en el tejido (ver Figura 3.6). Su técnica implica una configuración que bloquea el hilo por tensión sin crear un exceso de masa en la zona de unión (Booth, 1996).

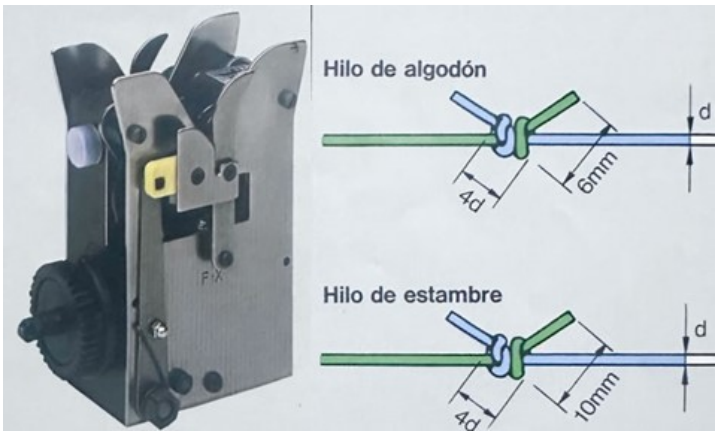
Figura 3.6: Nudo del tejedor.



Nota. Imagen escaneada de *No. 7-V Mach Coner Bobbin-Tray Type* (Muratec, s.f.).

- **Nudo de Pescador (Fisherman's Knot)**: En la Figura 3.7 podemos observar un anudador de nudos de pescador, utilizado en casos donde se requiere unir dos hilos de materiales diferentes o con distinta rigidez, como en hilos mezclados o combinaciones de fibras naturales y sintéticas. Consiste en realizar un nudo simple en cada extremo alrededor del otro hilo y luego tensar hasta que ambos nudos queden juntos. Es más seguro que el nudo simple, pero menos compacto que el nudo de tejedor.

Figura 3.7: Nudo del pescador.



Nota. Imagen escaneada de *No. 7-V Mach Coner Bobbin-Tray Type* (Muratec, s.f.).

Esta técnica prácticamente ha desaparecido y se lo utiliza únicamente en casos excepcionales, pero es bueno que sepamos su existencia y su forma de realizarlo.

Splicer Neumático (de aire comprimido)

También conocido como empalmador por aire comprimido, es el sistema de unión de hilos más extendido en la industria textil moderna debido a su versatilidad, limpieza y rapidez operativa. Su principio de funcionamiento se basa en la aplicación controlada de una ráfaga de aire a presión que, a través de una tobera especialmente diseñada, abre, entrelaza y compacta las fibras libres de los extremos a unir, generando una unión continua sin nudos visibles ni volúmenes adicionales. Esta característica lo convierte en el sistema universal por excelencia, compatible con una amplia gama de fibras y títulos de hilo (Murata Machinery, 2021).

Durante la operación, los extremos de los hilos previamente cortados y alineados se insertan en la cámara de empalme; allí, un chorro de aire comprimido con una presión y duración calibradas provoca que las fibras se entrelacen y se bloqueen entre sí, formando un empalme uniforme. Este proceso, aunque rápido, está sujeto a estrictos parámetros de calidad, donde la resistencia de la unión debe ser como máximo, un 5 % inferior a la resistencia de un tramo de hilo sin empalme, y la uniformidad de diámetro debe integrarse visual y dimensionalmente con el resto del hilo (Koranne, 2013).

El separador neumático es útil en hilos de fibras cortas, como pueden ser el algodón, la viscosa y el rayón, en fibras de lana peinada, en filamentos sintéticos como el poliéster y el nylon, y en mezclas de fibras sintéticas y naturales. Su rango de aplicabilidad ha dejado de darle la consideración de elemento estándar en enconadoras automáticas, urdidoras seccionales y en bobinadoras para la tejeduría de punto y plana; pero no es el más adecuado para hilos retorcidos, donde la compactación de fibras podemos afirmar que no es buena por su irregularidad.

La unión es completamente lisa, evitando enganches en guías, peines o agujas y eliminando defectos visibles en el tejido, el empalme mantiene un diámetro prácticamente constante respecto al hilo original, garantizando un desenrollado estable, esto lo conocemos como uniformidad dimensional, el empalme se realiza en fracciones de segundo, minimizando tiempos muertos, al no existir salientes, se reducen las interrupciones en el proceso de desenrollamiento.

El sistema se basa en aire comprimido que tiene que ser limpio y seco, además de mantener una presión constante, de donde la calidad del suministro resulta ser vital, si el aire presenta humedad, aceite o elementos que pueden ser partículas de polvo u otras, afectará la calidad del empalme y habrá uniones que puedan ser débiles o irregulares; además, tanto el compresor como los módulos de splicer deben someterse a un mantenimiento periódico y metódico, que incluya limpieza en el interior, verificación de las toberas y calibración de los parámetros de presión y de tiempo de soplado.

La eficiencia del entrelazado se reduce en hilos con torsiones muy elevadas, fibras muy rígidas o diámetros mayores que los que establece la gama nominal de la máquina (MERZ,1998); a raíz de esto será necesario contemplar métodos alternativos o modificaciones de la tobera y/o condiciones del aire.

El splicer neumático es una determinada tecnología de empalmes altamente eficiente y versátil, en virtud de lo cual ha ido suplantando la técnica del nudo manual y otros tipos de métodos tradicionales, dado que permite entrelazamientos para obtener empalmes limpios, uniformes y de elevada resistencia (ver Figura 3.8); no obstante, su rendimiento óptimo depende de una correcta calibración, un mantenimiento riguroso y el control estricto de las condiciones del aire comprimido, lo que lo convierte en una herramienta ideal para entornos industriales

tecnológicamente bien estructurados.

Figura 3.8: Splicer Neumático.



Nota. Imagen escaneada de *No. 7-V Mach Coner Bobbin-Tray Type* (Muratec, s.f.).

Splicer Térmico

El splicer térmico es un sistema de empalme que aprovecha las propiedades de los materiales termoplásticos para lograr una unión sólida y uniforme entre dos extremos de hilo. Su funcionamiento se basa en aplicar calor controlado a los extremos del hilo previamente alineados, provocando una fusión parcial superficial que, al ser presionada, crea una unión monolítica, este proceso genera una continuidad visual y mecánica prácticamente idéntica al hilo original, sin nudos ni incrementos notables de volumen (Rengasamy, 2021).

En la operación, los extremos del hilo se exponen a una fuente de calor generalmente una resistencia eléctrica o un microcalentador cerámico calibrado a una temperatura específica según el tipo de polímero, el calor reblandece o funde parcialmente la superficie del filamento, y mediante una ligera presión mecánica se produce la coalescencia de las cadenas moleculares, generando una unión resistente, la precisión en el control térmico y de presión, es crucial para evitar degradaciones del polímero o cambios en sus propiedades mecánicas y ópticas (Koranne, 2013). Este método es exclusivo para hilos termoplásticos, como:

- Poliéster (PES)
- Poliamida o nylon (PA)
- Polipropileno (PP)

Se emplea principalmente en filamentos continuos, tanto lisos como texturizados, y es muy

utilizado en sectores como la tejeduría de punto, la confección de telas técnicas y en procesos donde se busca eliminar cualquier discontinuidad visible o volumétrica.

La unión resultante presenta propiedades mecánicas similares a las del hilo original, el empalme no genera enganches ni defectos visuales, el proceso es prácticamente instantáneo, favoreciendo la continuidad de la producción, es especialmente ventajoso en hilos lisos, donde la fusión superficial garantiza uniformidad total.

El splicer térmico no es aplicable a fibras naturales (algodón, lana, lino) ni a mezclas con alto contenido de fibras no termoplásticas, ya que estas no presentan comportamiento de fusión bajo calor controlado; además, si la temperatura no está correctamente calibrada, puede ocurrir una degradación térmica del polímero, reduciendo la resistencia, un cambio en el brillo o color del hilo, y el exceso de fusión, genera uniones rígidas o quebradizas.

Por ello, la calibración debe considerar la temperatura de fusión del polímero (por ejemplo: 255 a 265 °C para poliéster, 210 a 220 °C para poliamida, 160 a 170 °C para polipropileno) y el tiempo de exposición, que debe ser lo suficientemente breve para evitar daños térmicos pero suficiente para garantizar la coalescencia de las fibras (Saville, 1999).

El splicer térmico es una solución óptima para el empalme de hilos termoplásticos en la industria textil moderna, proporcionando uniones invisibles, resistentes y estables, siempre que se apliquen parámetros térmicos y mecánicos precisos, su uso está limitado por la naturaleza química de la fibra, pero en el contexto adecuado ofrece una calidad de empalme superior y una integración perfecta en el hilo.

Splicer Mecánico (por fricción)

El splicer mecánico por fricción es un sistema de empalme que emplea fuerzas mecánicas generadas por dos ruedas o discos giratorios para entrelazar los extremos de dos hilos previamente preparados. El principio de este método radica en reproducir, de manera localizada, el mismo mecanismo de torsión controlada que se utiliza en el retorcido de hilos, asegurando que la unión resultante presente una estructura y torsión equilibradas (Koranne, 2013).

En la operación, los extremos del hilo se someten a un proceso previo de apertura de fibras para facilitar su entrelazado. Esta apertura puede lograrse de dos formas:

- Aire asistido: Mediante un chorro controlado de aire comprimido que separa las fibras, especialmente utilizado en hilos de fibras finas o mezcladas.
- Apertura mecánica: A través de dispositivos de cepillado o peinado incorporados, más frecuentes en hilos gruesos o de fibras naturales resistentes.

Una vez abiertos, los extremos se colocan entre los discos o ruedas que giran en direcciones opuestas, generando una torsión que entrecruza las fibras de ambos extremos hasta obtener una unión consistente. Este sistema es especialmente indicado para hilos retorcidos de algodón, fibras naturales como lino, cáñamo o mezclas con fibras animales. Es importante recalcar que este sistema también tiene mucha acogida en aplicaciones donde la torsión y el equilibrio estructural del empalme sean críticos, como en tejeduría plana de alta resistencia o tejidos técnicos con cargas mecánicas, aunque es posible utilizarlo en fibras sintéticas, su uso se optimiza en materiales donde la cohesión mecánica entre fibras es más efectiva que la fusión térmica o el entrelazado neumático.

El empalme reproduce la torsión original del hilo, evitando puntos débiles, ya que existe alta compatibilidad con fibras naturales, siendo ideal para hilos que no responden bien a procesos

térmicos o neumáticos, porque al imitar el patrón de torsión original, el empalme presenta una buena resistencia mecánica bajo tensión repetitiva.

El splicer mecánico genera un empalme ligeramente más voluminoso que el neumático, lo que puede provocar incomodidad visual en tejidos de alta finura o con estructura muy cerrada; además, la resistencia final de la unión depende en gran medida de la correcta apertura de los extremos, si esta no es suficiente o es irregular, el entrelazado será incompleto, generando uniones débiles o con riesgo de separación.

Igualmente, el funcionamiento del sistema es muy bueno, teniendo que realizarse el mantenimiento periódico de los discos de fricción, para evitar problemas de desgaste de los mismos o acumulación de las fibras en su abrasión o que se produzcan desalineaciones que pudieran perjudicar la calidad del empalme. Calibrar la presión de contacto y velocidad de giro es importante para configurar el empalme de los títulos del hilo y tipo de fibra (Saville, 1999).

El splicer mecánico por fricción es una solución válida para empalmar hilos retorcidos y fibras naturales, ofreciéndoles uniones con buena resistencia y con torsión equilibrada. Aunque su volumen visible es mayor que el de un empalme neumático, su fiabilidad en hilos de algodón y fibras vegetales lo mantiene vigente en aplicaciones donde la cohesión mecánica es prioritaria sobre la estética.

Splicer Hidráulico

Es un sistema de empalme que comparte principios de funcionamiento con el splicer neumático, pero sustituye el aire comprimido por chorros de agua a alta presión como agente de apertura y entrelazado de fibras. El proceso se basa en dirigir un flujo controlado de agua generalmente desmineralizada para evitar incrustaciones o residuos minerales sobre los extremos del hilo, provocando su apertura, alineación y posterior unión mediante la compactación de las fibras en la zona de empalme (Koranne, 2013).

La cámara de empalme que contiene al splicer hidráulico deriva del diseño de la cámara de empalme con boquillas de inyección que activan micro chorros de agua a alta presión capaces de separar fibras de hilos con torsiones altas o ligeramente retorcidos, y tras la apertura se abre la cámara, con el mismo flujo de agua asociado a un control del movimiento de la caja de cierre, dando lugar a un entrelazado suave de las fibras generando una unión en un proceso continuo, limpio y sin nudos.

La posible alteración del contenido de humedad del hilo, en algunas fibras, especialmente las de baja absorción; es decir, la humedad residual, puede afectar su comportamiento en procesos posteriores como el bobinado final o el tejido.

El equipo se debe realizar limpiezas con cierta regularidad, así como sustituir periódicamente las boquillas para tener una presión y un patrón de chorro estables, ya que, en términos de costos, el agua tratada consumida y la infraestructura de bomba de alta presión suponen un coste inicial de inversión y de operación que limitan su amplia adopción en relación con los sistemas neumáticos. El splicer hidráulico es una tecnología de empalme especializada que, si bien no es tan común como la neumática, sí permite realizar uniones limpias y estables. Su viabilidad depende de la disponibilidad y tratamiento adecuado del agua, así como del control de la humedad residual en el hilo. Cuando las condiciones de la planta lo permiten, puede ser una alternativa eficiente y de alta calidad para el empalme sin nudos.

Splicers Inteligentes o Automáticos (Smart Splicer)

También conocidos como Smart Splicer, representan la evolución más avanzada en la tecnología de empalme de hilos, integrando sensores de detección, control electrónico

adaptativo y software especializado dentro de las máquinas bobinadoras o enconadoras modernas. El sistema está basado en un sistema de control continuo del hilo en fabricación, que le permite la detección de roturas, defectos o irregularidades en tiempo real y realizar un empalme sin intervención humana de ninguna clase, eligiendo el tipo de empalme más adecuado automáticamente o dependiendo de la naturaleza de la fibra, el título del hilo y las condiciones de fabricación (Koranne, 2013).

El sistema aplica algoritmos de decisión y parámetros predefinidos y programados que indicarán si el empalme se llevará a cabo por medio de técnica neumática, térmica o mecánica, según la configuración de la máquina y el tipo de hilo realizado; las versiones más avanzadas, del sistema son capaz de auto-calibrarse de forma dinámica, parametrizando presión, tiempo del empalme, apertura de fibras y nivel de compactación, donde logra una uniformidad extrema incluso cuando se trabajan lotes que presentan alteraciones de la materia prima.

Estos equipos detectan y ejecutan el empalme en milisegundos, evitando interrupciones en la producción. Se recalibran según el tipo de unión, según la fibra, el título del hilo y las condiciones de producción, manteniendo la calidad sin necesidad de intervención manual.

Presentan un excelente sistema de trazabilidad mejorada, integrados a sistemas de gestión de datos (Industria 4.0), registran el historial de cada empalme, incluyendo parámetros de presión, tiempo y ubicación en el lote, eliminan la variabilidad causada por operadores con diferentes niveles de experiencia.

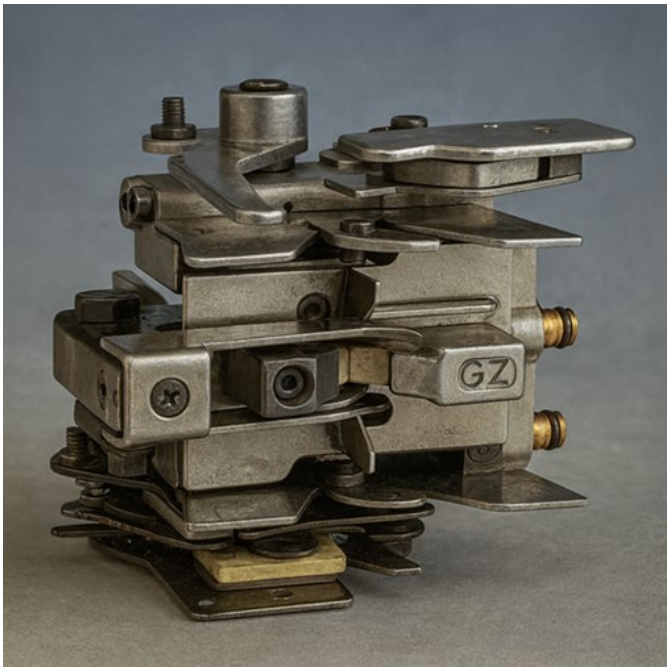
El principal obstáculo para su adopción es el alto costo de inversión, que puede ser prohibitivo para pequeñas y medianas empresas; además, requieren mantenimiento especializado y actualizaciones periódicas de software para garantizar la precisión de sus algoritmos y el correcto funcionamiento de sus sensores, otro aspecto crítico es la necesidad de contar con personal capacitado para interpretar la información de trazabilidad y realizar intervenciones técnicas en caso de fallas.

Los splicers inteligentes son la expresión práctica de la automatización y control del empalme de hilos con rapidez, adaptabilidad y trazabilidad para unir hilos perfectos y repetibles. Su integración, por otra parte, requiere una alta inversión inicial y un avanzado soporte técnico; no obstante, la reducción del tiempo muerto de producción, la homogenización del producto obtenido y la posibilidad de digitalizar toda la operativa que los splicers inteligentes permiten, hacen que su uso sea un recurso a considerar para plantas textiles avanzadas y con vocación de ser tecnológicas.

Partes Comunes de un Splicer Neumático (el más utilizado)

El anudador o splicer textil es un dispositivo especializado diseñado para unir dos extremos de hilo de manera eficiente, uniforme y sin generar defectos significativos en el producto final. La Figura 3.9 nos indica un splicer genérico para todas las fibras, donde se observan sus particularidades. Su construcción integra diversos elementos mecánicos, neumáticos o electrónicos, dependiendo del tipo de splicer y de la tecnología que emplee (manual, neumático, térmico, mecánico, hidráulico o inteligente). Cada una de sus partes cumple una función precisa, cuyo correcto mantenimiento y calibración son determinantes para la calidad y resistencia del empalme (Koranne, 2013).

Figura 3.9: Splicer Neumático Térmico tipo GZ.



Nota. Imagen escaneada de *No. 7-V Mach Coner Bobbin-Tray Type* (Muratec, s.f.).

- **Cámara de empalme**: Es el núcleo funcional del splicer, donde se produce la unión efectiva de los extremos del hilo. Está diseñado para alojar la zona de contacto de las fibras durante la operación y para recibir el flujo de aire, agua o calor, según el tipo de splicer que provocará la apertura, entrelazado y compactación de las fibras. En splicers neumáticos e hidráulicos, su geometría y dimensiones influyen directamente en la uniformidad del empalme, ya que determinan la distribución de la energía de apertura y la estabilidad de la unión.
- **Boquillas de Aire**: En los modelos neumáticos, las boquillas son conductos calibrados que dirigen el chorro de aire a alta presión hacia los extremos del hilo. Este flujo, además de abrir las fibras, genera una torsión falsa en la zona de empalme, lo que asegura un entrelazado compacto y estable. Las boquillas deben estar perfectamente limpias y libres de obstrucciones, ya que cualquier alteración en el patrón de salida del aire compromete la resistencia y uniformidad del empalme (Rengasamy, 2021).
- **Sistema de Sujeción**: Constituido por pinzas o mordazas, es el mecanismo encargado de mantener firmemente los extremos de los hilos durante el empalme, esta sujeción es crítica para que el flujo de aire, agua o el calor actúe únicamente en la zona deseada, evitando desplazamientos que provoquen empalmes defectuosos o asimétricos, la presión de las mordazas debe ajustarse según el título y la naturaleza de la fibra para evitar daños por aplastamiento o deslizamientos.
- **Pedal o Actuador Automático**: Es un elemento que desencadena el ciclo de empalme. En splicers manuales, el operador acciona un pedal o palanca cuando los extremos están preparados, activando la apertura y el cierre de la cámara y liberando el flujo de energía (aire, agua o calor) en equipos automáticos e inteligentes, este accionamiento

está sincronizado con sensores de rotura o fin de bobina, permitiendo que el empalme se realice sin intervención humana.

- **Cuchilla de Corte (opcional)**: Presente en muchos modelos, la cuchilla de corte elimina las puntas sobrantes después del empalme, dejando una unión más limpia y reduciendo el riesgo de enganches durante los procesos posteriores, aunque en ciertos casos el corte puede ser manual o incluso omitirse, en producciones de alta calidad es recomendable para garantizar uniformidad y presentación estética.
- **Pantalla o Interfaz (en splicers inteligentes)**: Los modelos más sofisticados tienen una interfaz digital capaz de parametrizar y ajustar todas las variables: presión de aire (o de agua), tiempo de empalme, tipo de hilo y tipo de fibra procesada y diagnósticos: estadísticas de empalmes realizados, tasa de defectos, calibración fina; a su vez, los sistemas de Industria 4.0 proponen que la interfaz digital esté conectada con sistemas de trazabilidad para registrar la operación realizada, permitiendo analizar las operaciones de los empalmes (Behera & Shanmugasundaram, 2021).

La inclusión de cada uno de los componentes de un anudador o splicer textil está tan altamente diseñada y preparada para la interacción que el orden en el que deben operar se encuentra sincronizado; asegurando así que la unión realizada tenga una buena resistencia, una homogeneidad y preparación para ser posteriormente procesada para urdido, tejido o tricotado. En la Tabla 3.5 se presenta el empalme recomendado según el tipo de fibra con las observaciones técnicas que debemos tener en cuenta al procesar los diferentes materiales fibrosos. Mantener calibradas la cámara, las boquillas, la presión y la operación es fundamental para que la calidad del empalme sea alta, minimizando defectos y maximizando la producción.

Tabla 3.5: Empalme según Tipo de Hilo y Fibra

Empalme según Tipo de Hilo y Fibra		
Tipo de hilo o fibra	**Empalme recomendado**	**Observaciones técnicas**
Material algodón cardado/peinado	Splicer mecánico o neumático	Mantener una apertura y presión moderada para evitar roturas innecesarias.
Material poliéster o poliamida	Splicer térmico o neumático	Relacionado con fusión térmica; se debe evitar sobrecalentamientos o excesos térmicos.
Material mezclado (poliéster-algodón)	Splicer neumático o inteligente	Para este empalme se demanda ajustes muy finos especialmente de la presión para armonizar las fibras componentes
Material retorcido (2 o 3 cabos)	Splicer mecánico o neumático con función de reversión de torsión	Es importante tomar en cuenta el sentido de la retorsión para mantener las cualidades del hilo
Material filamento texturizado	Splicer térmico o hidráulico	Debemos tomar en cuenta la forma del filamento para evitar deformaciones.
Materiales técnicos (aramidas, carbono)	Splicer especializado (inteligente o hidráulico)	Son equipos que requieren materiales de muy alta tenacidad dada su tecnología.

Nota. Elaboración propia.

Debemos señalar que es fundamental entender que un buen empalme no solo es fuerte, sino también discreto y compatible con la estructura del hilo; por tal motivo, debemos conocer los ajustes estándares (presión, tiempo, tipo de torsión) y luego de un análisis individual en planta llegar a conclusiones estadísticas donde el equipo se adapte a cada situación productiva. No debemos olvidar que un método práctico es la observación y la comparación con diferentes splicers; esto nos permitirá evaluar la resistencia a la tracción y la compatibilidad con procesos posteriores.

En la industria moderna, los splicer son elementos estratégicos que nos permiten garantizar una calidad continua, especialmente en sistemas de producción automatizados.

Capítulo 4

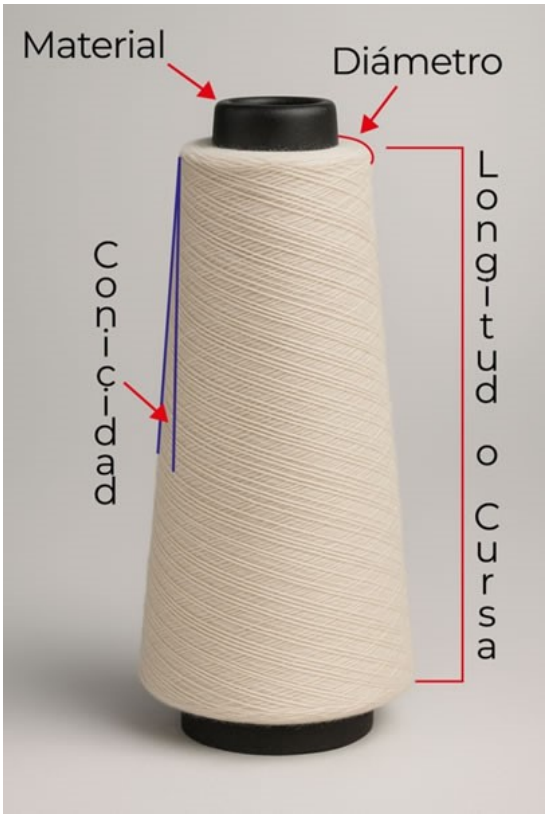
El Cono Textil, Características y Parámetros Técnicos

El diseño geométrico del cono y los parámetros del bobinado determinan la calidad, la estabilidad, la uniformidad y la funcionalidad del paquete de hilo en la fabricación de componentes en el enconado textil. Comprender, entender y realizar el cálculo de determinadas mediciones de interés intrínseco del paquete, como la cursa, la conicidad y el ángulo de cruce, es primordial para conseguir núcleos de hilo que puedan ser utilizados para optimizar el comportamiento en las máquinas de urdido, tejido, teñido o costura industriales.

4.1. Cursa, Avance Axial o Paso Transversal del Hilo

En el proceso de bobinado o enconado textil, la cursa, también denominada *avance axial o paso transversal del hilo*, es el desplazamiento longitudinal (ver Figura 4.1) que realiza el guía-hilos o el cilindro enrollador a lo largo del eje del cono o núcleo durante cada vuelta completa del hilo.

Figura 4.1: Características del cono.



Nota. Fotografía autoría propia, 2025.

Este parámetro determina la geometría interna del paquete, influye de forma directa en el ángulo de cruce y define la uniformidad de la disposición de las capas de hilo (Koranne, 2013; Murata Machinery, 2021).

Una cursa correctamente establecida asegura que el hilo se deposite en una configuración helicoidal controlada, evitando defectos como:

- Solapamientos excesivos *(overlapping)*, que producen zonas endurecidas y variaciones de densidad.

- Espacios vacíos entre capas, que generan conos flojos, inestables y con problemas en el desenrollado.
- Ribboning o formación de bandas compactas, que interrumpen el flujo continuo de hilo en procesos posteriores.

La cursa está directamente vinculada al ángulo de cruce (θ) del hilo, ya que este depende tanto de la longitud de avance axial como de la circunferencia del paquete. Para realizar un cálculo, podemos utilizar la Ecuación 4.1 (Budynas & Nisbett, 2015):

$$\theta = \arctan\left(\frac{Cursa}{\pi \cdot D_m}\right) \tag{4.1}$$

- Cursa = desplazamiento axial del guía-hilos por vuelta (mm)
- D_m = diámetro medio del paquete durante el bobinado (mm)

Este vínculo implica que cualquier ajuste en la cursa alterará proporcionalmente el ángulo de cruce, modificando el patrón de compactación del hilo.

4.1.1. Cálculo y Optimización de la Cursa

Utilizando la Ecuación 4.2 (Budynas & Nisbett, 2015), la cursa puede calcularse de forma práctica mediante la relación entre la velocidad lineal del guía-hilos (V_a) y la velocidad periférica del cilindro o paquete (V_p):

$$Cursa = \frac{V_a}{n} \tag{4.2}$$

- V_a = velocidad axial del guía-hilos (mm/s)
- n = revoluciones por segundo del paquete

En aplicaciones industriales, la cursa se ajusta en función de:

- Tipo de hilo: Hilos finos requieren cursas menores para mayor estabilidad; hilos gruesos permiten cursas mayores sin riesgo de huecos.
- Tipo de paquete: Conos para tejeduría plana o urdido exigen cursas más precisas que paquetes para transporte o almacenamiento prolongado.
- La velocidad del bobinado: A velocidades altas, por encima de los 5.000 rpm, es necesario utilizar sistemas de control electrónico de cursa para evitar un efecto oscilante, en enconadoras automáticas modernas el control de la cursa se hace mediante el uso de servomotores sincronizados para permitir variaciones de la cursa durante el enrollado. La cursa no es un parámetro fijo, sino que es una variable crítica del diseño en la ingeniería textil, a la que debe emparejarse el ajuste global de la máquina, incluida la tensión, la presión de contacto y el ángulo de cruce.

4.2. Conicidad, Forma Geométrica del Cono

En la industria textil, la conicidad es el parámetro que define el grado de inclinación de las paredes laterales del cono o paquete en relación con su eje longitudinal. Este valor, expresado en grados sexagesimales (°) o en minutos y segundos angulares, es fundamental porque determina la estabilidad mecánica del paquete, su capacidad volumétrica, la forma de desenrollado y el comportamiento en procesos posteriores como el urdido, tejido o teñido (Koranne, 2013; Rengasamy, 2021).

La selección de la conicidad no es arbitraria, sino que responde a criterios técnicos; entre los más relevantes:

- Estabilidad del paquete: Conos con menor conicidad (ángulos más agudos) ofrecen mayor superficie de apoyo y mejor estabilidad, reduciendo el riesgo de vibraciones o desplazamientos en máquinas de alta velocidad.
- Capacidad de hilo: Una conicidad mayor aumenta el volumen útil del paquete, lo que reduce la frecuencia de cambios de cono en producción.
- Desenrollado: En conos con baja conicidad, el desenrollado es más controlado y lineal; en conos de alta conicidad, si no existe un control adecuado de tensión y patrón de bobinado, pueden aparecer riesgos de colapsos o deformaciones durante el uso.

En la práctica industrial, los ángulos de conicidad más utilizados son $3°51'$, $4°20'$, $5°57'$ y $9°15'$, estandarizados según normas ISO y DIN para garantizar compatibilidad con soportes y porta conos universales.

4.2.1. Cálculo del Ángulo de Conicidad (α)

Si aplicamos la Ecuación 4.3 (Budynas & Nisbett, 2015), para el cálculo del ángulo de conicidad, podemos determinar mediante geometría básica, considerando la diferencia de radios entre la base y el extremo superior del cono, y la altura del paquete:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{R_b - R_t}{H}\right) \tag{4.3}$$

- R_b = radio de la base mayor del cono (mm)
- R_t = radio de la base menor o superior del cono (mm)
- H = altura del cono (mm)
- α = ángulo de conicidad (°)

La conicidad del cono puede afectar de forma directa a la parametrización del ángulo de cruce y a la cursa del guía-hilos, los conos de baja conicidad necesitarán una cursa más larga para cubrir axialmente su superficie sin dejar zonas vacías, y los conos de alta conicidad requerirán un mejor control de la tensión y del patrón de cruce para evitar que el hilo se desplace hasta la base mayor; la fricción entre el cilindro enrollador y la superficie del cono cambia según la conicidad, ya que la línea de contacto varía en longitud y posición a medida que se llena, lo que puede obligar a modificar la presión de contacto para seguir garantizando la uniformidad en la densidad del paquete.

Es importante conocer las aplicaciones según la conicidad, esto ayuda a generar una producción de conos de mejor calidad:

- $3°51'$ y $4°20'$: usados en tejeduría plana y de punto, con excelente estabilidad y control de desenrollado.
- $5°57'$: comunes en procesos de teñido en cono, ya que facilitan la penetración uniforme del baño.
- $9°15'$: alta capacidad volumétrica, utilizados en hilados técnicos o empaques para transporte, donde el tamaño del paquete es prioritario.

La conicidad es una variable de diseño que combina criterios geométricos, mecánicos y operativos, una selección inadecuada puede comprometer la estabilidad, la capacidad y la calidad final del desenrollado, mientras que un diseño optimizado, acompañado de un patrón de bobinado adaptado a la conicidad, maximiza el rendimiento de la máquina y reduce incidencias en procesos posteriores.

4.2.2. Ángulo de Cruce (θ)

En el bobinado cruzado de hilos, el ángulo de cruce, también denominado *winding angle* o *cross-winding angle*, es el ángulo que forma la trayectoria helicoidal del hilo con respecto al eje longitudinal del cono o núcleo sobre el que se enrolla, este parámetro es determinante para la compactación interna del paquete, la estabilidad estructural durante el transporte y almacenamiento, y el comportamiento del desenrollado en procesos posteriores como urdido, tejido o tricotado (Koranne, 2013; Murata Machinery, 2021).

Ángulo mayor (cruce más cerrado): incrementa la cantidad de capas por unidad de longitud, generando paquetes más compactos y con mayor densidad; sin embargo, un ángulo excesivo aumenta la fricción interna y el riesgo de sobrecalentamiento en procesos de alta velocidad.

Ángulo menor (cruce más abierto): mejora la ventilación interna y facilita el desenrollado suave, pero puede reducir la estabilidad mecánica, especialmente en paquetes de gran tamaño o con hilos de baja cohesión superficial.

En la industria textil, la selección del ángulo de cruce se ajusta según el proceso de destino o de utilización del material. Como hemos tratado en este libro, vamos a describir los más utilizados:

- Tejeduría de punto y confección: Ángulos de $20°$ a $35°$ para favorecer un desenrollado libre y minimizar enganches.
- Urdido directo, teñido y procesos técnicos: Ángulos más cerrados, de $35°$ a $45°$, para aumentar la cohesión y resistencia interna del paquete.

Relación Matemática del Ángulo de Cruce (θ)

El ángulo de cruce se calcula a partir de la relación entre la cursa (avance axial del guía-hilos) y la circunferencia efectiva del paquete en la zona de bobinado. Este ángulo lo podemos calcular con la Ecuación 4.4 (Budynas & Nisbett, 2015):

$$\theta = \arctan\left(\frac{Cursa}{\pi \cdot D_m}\right) \tag{4.4}$$

- θ = ángulo de cruce (°)
- Cursa = avance axial del guía-hilos por revolución (mm)
- D_m = diámetro medio del paquete durante el bobinado (mm)

Control del Ángulo en Enconadoras Modernas

Los factores que condicionan el ángulo de cruce es la velocidad de bobinado; en este sentido, en máquinas de alta velocidad (> 5.000 rpm), un ángulo muy cerrado puede generar sobrecompresión y desgaste superficial del hilo; otro aspecto que debemos considerar son el título y tipo de hilo; hilos finos permiten ángulos más cerrados; hilos gruesos requieren cruces más abiertos para evitar bloqueos.

La esencia de la fibra es uno de los factores significativos para definir el ángulo, por ejemplo, fibras sintéticas lisas (poliéster, poliamida) necesitan ángulos de cruce más altos para evitar posible deslizamiento interno, mientras que fibras naturales (algodón, lana) son capaces de soportar ángulos más abiertos.

En maquinaria moderna, el ángulo de cruce se adapta con servomotores sincronizados que controlan la velocidad de desplazamiento del guía-hilos en contraposición a la velocidad de rotación del paquete, permitiendo la ejecución de diferentes patrones de cruce (por ejemplo, más abiertos en las capas internas para mayor ventilación y más cerrados en las capas externas para mayor estabilidad), lo que hace que se den las máximas expectativas de salida y de calidad en el paquete final.

4.2.3. Relación Funcional entre Cursa, Conicidad y Ángulo de Cruce

En el bobinado y enconado textil, la cursa, la conicidad y el ángulo de cruce constituyen un sistema de parámetros interdependientes que determinan de manera conjunta la geometría, estabilidad y comportamiento funcional del paquete de hilo. Un cambio en cualquiera de ellos afecta necesariamente a los otros dos, lo que obliga a un ajuste integrado para optimizar la calidad y eficiencia del proceso (Koranne, 2013; Murata Machinery, 2021).

- El aumento de la cursa supone un mayor ángulo de cruce, o un mayor θ, lo que implica una mayor ventilación interna y una menor densidad del paquete que se está fabricando.

  Esta característica resulta conveniente en los hilos con tendencia a compactarse en exceso o en los bobinados que se destinan a los procesos de teñido que requieren una buena penetración del baño.

- Por el contrario, una menor cursa implica un más cerrado ángulo de cruce, con el consiguiente aumento de la densidad y la compactación, pero también del roce interno y del riesgo de sobrepresión en capas internas.

La conicidad, expresada en grados sexagesimales, define la inclinación lateral del cono; en conos de alta conicidad (por ejemplo, $9°15'$), la diferencia de diámetros entre la base y la punta produce una variación significativa de la circunferencia efectiva a lo largo de la altura del paquete, esto provoca que el ángulo de cruce no sea constante si la cursa se mantiene fija.

- En estos casos, se requiere un ángulo de cruce más cerrado en las capas iniciales para evitar que las espiras se desplacen hacia la base mayor.

- En conos de baja conicidad ($3°51'$ o $4°20'$), el control del ángulo de cruce es más estable y predecible, lo que permite mayor uniformidad de densidad axial.

La combinación óptima de estos tres parámetros depende de múltiples factores técnicos:

1. **Tipo de hilo:**

- Hilos finos y de baja torsión requieren ángulos de cruce moderados y cursas controladas para evitar colapsos.
- Hilos gruesos o de alta torsión toleran cursas mayores y ángulos más abiertos sin comprometer la estabilidad.

2. **Uso posterior:**
   - Para urdido directo y tejido plano, se prioriza estabilidad estructural; es decir, ángulos cerrados y baja cursa, con conicidad moderada.
   - Para tejido de punto o costura industrial, se busca desenrollado suave, ángulos abiertos y cursas amplias.
3. **Velocidad de desenrollado:**
   - A altas velocidades ($> 1{,}200$ m/min), un ángulo de cruce excesivamente abierto puede provocar vibraciones y rebordes internos.
   - A velocidades medias o bajas, ángulos más abiertos facilitan la salida del hilo.

La cursa, la conicidad y el ángulo de cruce no son, como se ha señalado anteriormente, parámetros independientes, sino que son, en sí, variables de diseño y operación que funcionan como un sistema acoplado. Su ajuste debe hacerse de la mano teniendo en cuenta la naturaleza del hilo, la velocidad del proceso y el destino del paquete, en enconadoras modernas, el ajuste de la cursa se hace mediante controles electrónicos sincronizados que permiten realizar variaciones dinámicas de la cursa y la conicidad en el proceso de llenado que favorecen la obtención de paquetes estables, compactos y de comportamiento expedito en los procesos posteriores, maximizado por esta forma de operación.

4.3. Cilindros Enrolladores de Hilo

En las máquinas enconadoras, los cilindros enrolladores de hilo también denominados cilindros bobinadores o rodillos de arrastre, constituyen un elemento esencial en la formación del paquete o cono textil, ya que cumplen la función de transferir el hilo desde el paquete de alimentación hacia el cono o núcleo receptor, asegurando simultáneamente el control de la tensión, la estabilidad dimensional y el patrón de enrollado (Koranne, 2013). Este componente actúa como la superficie motriz sobre la cual se apoya el cono o tubo durante el bobinado; su rotación, controlada por sistemas mecánicos, electrónicos o de fricción, permite que el hilo se deposite en capas uniformes y controladas, formando un paquete estable y compacto que garantice un desenrollado fluido en procesos posteriores (Rengasamy, 2021).

La elección del cilindro en cuanto a material, geometría y tipo de accionamiento influye de forma directa en la calidad final del cono, entre los materiales más comunes destacan el acero templado, el aluminio anodizado y polímeros técnicos reforzados, todos ellos con recubrimientos especiales (como caucho de alta fricción o compuestos cerámicos) que optimizan el contacto con el cono, evitando deslizamientos o marcas superficiales (Saville, 1999). En cuanto a su geometría, los cilindros pueden ser lisos, ranurados o moleteados, dependiendo de si se requiere mayor fricción, menor compresión del hilo o patrones específicos de enrollado. En lo que respecta al accionamiento, se distinguen tres configuraciones principales:

1 Cilindros motorizados: Disponen de un motor propio que sincroniza su velocidad con el patrón de bobinado, permitiendo ajustes precisos para distintos títulos y tipos de hilo.

2 Cilindros arrastrados por fricción: la rotación que poseen los cilindros queda producida por el contacto que puedan tener con el huso o con el cono y es la presión que se le aplique al cilindro la que la va a regular.

3 Cilindros sincronizados electrónicamente: los cilindros sincronizados electrónicamente forman parte de un sistema de control digital que permite regular tanto la velocidad como la aceleración, con lo que conseguimos unos niveles de defectos derivados del bobinado como el ribboning, o los solapamientos de capas, muy reducidos.

El mantenimiento preventivo de los cilindros enrolladores es un aspecto crucial para preservar la calidad del bobinado. Esto implica la limpieza periódica de la superficie de contacto, la inspección del desgaste del recubrimiento y la verificación de alineación, ya que cualquier desbalance o irregularidad en el cilindro puede provocar variaciones en la tensión del hilo, deformaciones del paquete o incluso roturas de hilo durante el proceso (Murata Machinery, 2021).

Desde un punto de vista productivo, la correcta selección y ajuste del cilindro no solo repercute en la calidad física y estética del cono, sino que también incide directamente en la eficiencia global del proceso, reduciendo paradas por defectos, mejorando el rendimiento del hilo en operaciones posteriores y prolongando la vida útil de la maquinaria, por esta razón, comprender el funcionamiento, los parámetros de diseño y las rutinas de mantenimiento de este componente es una competencia clave para operadores, técnicos e ingenieros textiles que buscan alcanzar estándares de producción consistentes y de alta calidad.

4.3.1. Ángulos de Enrollado y Cruce

El ángulo de enrollado o ángulo de cruce es un parámetro fundamental en la ingeniería de bobinado textil, definido como el ángulo que forma la trayectoria helicoidal del hilo al depositarse sobre la superficie del cono o núcleo receptor. Este ángulo se genera por la combinación de dos movimientos sincronizados en la máquina enconadora: la rotación del paquete y el desplazamiento axial del guía-hilos. La correcta determinación del ángulo es decisiva para evitar defectos como solapamientos, ribboning, paquetes excesivamente duros, deformes o con zonas flojas que comprometan la estabilidad y el desenrollado. (Koranne, 2013; Murata Machinery, 2021).

Aplicando la Ecuación 4.5 (Budynas & Nisbett, 2015), y desde un punto de vista geométrico, el ángulo de cruce (θ) se puede calcular mediante la relación:

$$\theta = \arctan\left(\frac{2 \cdot S}{\pi \cdot D}\right) \tag{4.5}$$

- S = carrera total del guía-hilos (mm)
- D = diámetro medio del paquete durante el bobinado (mm)

Otra ecuación para llegar a determinar el ángulo de cruce es la Ecuación 4.6 (Budynas & Nisbett, 2015), la cual se utiliza en maquinaria moderna considerando la velocidad periférica del cilindro bobinador (V_p) y la velocidad de desplazamiento axial del guía-hilos (V_a):

$$\tan\theta = \frac{V_a}{V_p} \tag{4.6}$$

Estos cálculos permiten ajustar el patrón de bobinado con gran precisión, evitando que el hilo caiga en ranuras preexistentes o se genere un enrollado irregular que afecte la compacidad y la calidad de la bobina.

Al existir una innumerable cantidad de ángulos de cruzamiento, nos vemos en la necesidad de sintetizar este tema en lo siguiente:

4.3.2. Enrollado Abierto

Ángulos entre $20°$ y $35°$, caracterizados por un cruce más largo entre pasadas consecutivas, generan paquetes de menor densidad, ideales para procesos que requieren un desenrollado suave y sin variaciones, como el urdido directo o el teñido en autoclave. Su ventaja es la reducción de la fricción interna, aunque la estabilidad mecánica del paquete puede verse comprometida si la tensión no es constante.

4.3.3. Enrollado Medio

Ángulos entre $35°$ y $45°$, considerados como el estándar para tejeduría plana y de punto, proporcionan un equilibrio óptimo entre compacidad, estabilidad y facilidad de desenrollado, reduciendo la formación de rebordes internos y manteniendo un buen control de la tensión durante el uso.

4.3.4. Enrollado Cerrado

Ángulos superiores a $45°$, que generan paquetes muy compactos y estables en condiciones de transporte y almacenamiento prolongado; sin embargo, este patrón incrementa la fricción interna y puede dificultar el desenrollado a alta velocidad, especialmente en hilos finos o delicados. Es más común en hilos técnicos y paquetes para exportación donde la integridad física del cono es prioritaria.

Un control deficiente del ángulo de cruce puede provocar solapamientos localizados, que generan zonas endurecidas, que no son otra cosa que una superposición de espiras que luego dificultan el desenrollado; además, otro inconveniente en la formación de conos son las variaciones de densidad que afectan el proceso de urdido y tejido. Por el contrario, un ángulo bien ajustado contribuye a una distribución uniforme de la densidad desde el núcleo hasta la capa exterior, favorece la estabilidad del paquete durante el transporte y asegura un desenrollado fluido en operaciones de alta velocidad (Rengasamy, 2021).

4.4. Materiales de los Cilindros

En las máquinas enconadoras, los cilindros enrolladores son elementos críticos cuya elección de material influye directamente en la calidad del paquete, la estabilidad del hilo y la durabilidad del sistema de arrastre. La selección del material no solo depende del tipo de fibra procesada y del título del hilo, sino también de factores como la velocidad periférica del cilindro, la presión de contacto sobre el cono y las condiciones ambientales de la planta (Koranne, 2013; Murata Machinery, 2021).

4.4.1. Acero Cromado

El acero aleado con recubrimiento de cromo es uno de los materiales más utilizados en cilindros para procesos de alta exigencia mecánica. La dureza superficial típica del cromado oscila entre 850 y $1{,}050$ HV (dureza Vickers), lo que confiere alta resistencia a la abrasión y prolonga la vida útil incluso en condiciones de operación continua. Su superficie pulida presenta una rugosidad media (Ra) inferior a $0{,}2\,\mu$m, favoreciendo un contacto suave con el cono y reduciendo el riesgo de marcas superficiales en el hilo. Debido a su elevada inercia, es ideal para procesos pesados o de alta tracción, pero a mayor masa requiere motores con suficiente potencia para mantener la velocidad periférica deseada.

La Ecuación 4.7 (Kalpakjian & Schmid, 2014) nos indica la manera para calcular la velocidad periférica (V_p) de un cilindro de acero cromado:

$$V_p = \pi \cdot D \cdot n \tag{4.7}$$

- D = diámetro del cilindro (m)
- n = revoluciones por segundo (rps)

4.4.2. Aluminio Anodizado

El aluminio, tras someterse a un proceso de anodizado electrolitico, adquiere una capa superficial de óxido de aluminio (Al_2O_3) con durezas cercanas a 500 – 600 HV. Su baja densidad permite incrementar y reducir la velocidad de los cilindros en tiempos mínimos, evitando pérdidas de producción, este cilindro es idóneo para máquinas que imprimen velocidades muy altas y procesan hilos de títulos finos o de baja resistencia, con poca torsión.

El aluminio anodizado se caracteriza por su rápida disipación térmica, evitando la concentración del calor producido por las altas velocidades y por el roce con el cono que es letal en fibras termo plásticas como poliéster y poliamida.

4.4.3. Recubrimiento Cerámico o con Carburo

Cilindros recubiertos con óxido de circonio, cerámica, óxido de aluminio o carburo de tungsteno tienen una resistencia a la abrasión notablemente superior al acero cromado, con durezas que pueden sobrepasar los 1200 HV. Estos recubrimientos, que se emplean mediante transmisión térmica o plasma spray, ofrecen una superficie con una considerable microdureza y baja porosidad.

Son perfectos para procesar hilos técnicos, fibras de alto módulo y filamentos sintéticos de gran tenacidad como las aramidas o el polietileno de ultraalto peso molecular. La abrasión rápida generada por esos microfilamentos cortantes daña a otros materiales rápidamente. El coeficiente de fricción dinámico (μ) en estos recubrimientos usualmente fluctúa entre $0,25$ y $0,35$. Entonces, hay que ajustar suavemente la presión de contacto esencial para evitar patinajes o compresiones exageradas en el cono.

4.4.4. Recubrimiento de Caucho o Poliuretano

Los cilindros con recubrimiento elastomérico (caucho, nitrílico o poliuretano) se emplean cuando se requiere mayor adherencia superficial para garantizar el arrastre de hilos suaves, elásticos o voluminosos, como acrílicos texturizados, lana peinada o elastómeros (spandex).

Estos recubrimientos ofrecen un coeficiente de fricción elevado μ (entre $0,6$ y $0,8$), lo que permite un agarre más eficiente sin necesidad de aumentar excesivamente la presión de contacto; sin embargo, su dureza Shore (entre 60 y 80 para aplicaciones textiles) debe seleccionarse cuidadosamente, una dureza baja, mejora la tracción, pero puede deformarse con el tiempo; mientras que una dureza alta, prolonga la vida útil, pero reduce la capacidad de absorción de irregularidades superficiales del paquete.

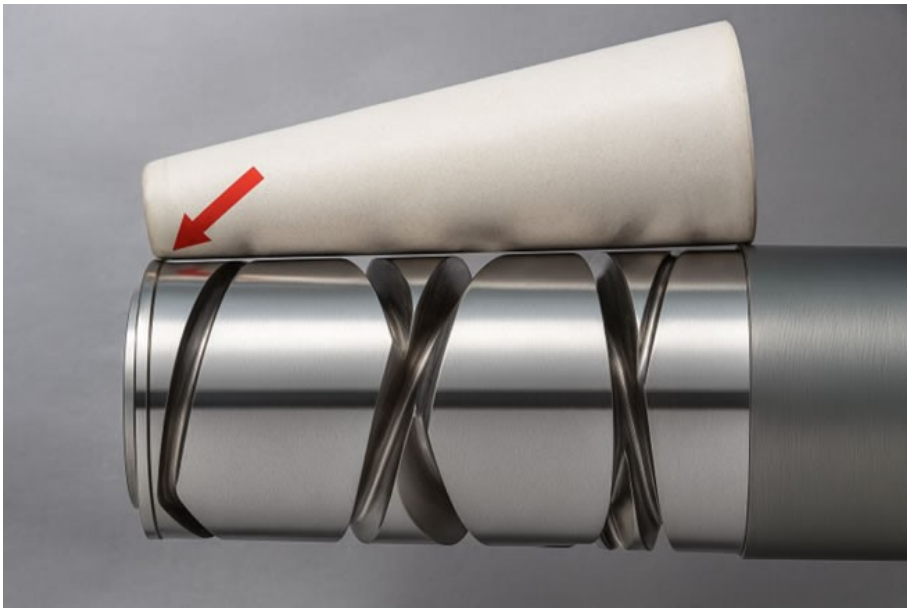
El espesor del recubrimiento del cilindro es de mucha importancia ya que está ligado a la durabilidad del ismo, que normalmente se sitúa entre 3 y 6 mm, no debemos descuidar la limpieza que está dentro de un mantenimiento preventivo, evitando incrustaciones de parafina, pelusa o microfibras.

Las características que las nombramos a continuación están relacionadas directamente a la adecuada selección del recubrimiento del cilindro enrollador: dureza, coeficiente de fricción, conductividad térmica, resistencia al desgaste y masa rotacional, deben estar debidamente relacionadas a la naturaleza de las fibras y particularidades del hilo para obtener paquetes de calidad.

4.5. Medidas y Especificaciones

Las dimensiones y especificaciones técnicas de los cilindros enrolladores en máquinas enconadoras y bobinadoras constituyen un factor crítico para garantizar un enrollado uniforme, estable y eficiente. La geometría del cilindro influye directamente en la capacidad máxima del paquete, en la velocidad periférica de arrastre y en la calidad superficial del cono producido. En la Figura 4.2 observamos claramente un cilindro enrollador de acero inoxidable cromado donde definimos las diferentes dimensiones que debemos tener en cuenta y que son variables dependiendo de la máquina, el uso y el material que estamos procesando. Una selección inadecuada de medidas o un error en el ajuste de estas especificaciones puede derivar en defectos como *slippage* (patinaje), enrollado irregular, tensión inconstante o incluso roturas del hilo (Koranne, 2013; Murata Machinery, 2021).

Figura 4.2: Cilindro enrollador de acero cromado.



Nota. Fotografía de autoría propia, 2025.

4.5.1. Longitud Útil del Cilindro

La longitud útil se refiere a la zona activa de contacto con el cono o núcleo durante el proceso del bobinado. Suele variar entre 120 mm y 300 mm, dependiendo del formato del paquete y del destino del hilo. Por ejemplo:

- En conos para tejeduría plana (altura aproximada de 170 a 240 mm), la longitud útil del cilindro se selecciona para cubrir la totalidad del área de contacto con una tolerancia de ± 3 mm.
- En conos especiales de gran capacidad para hilos técnicos o industriales, puede llegar a 300 mm para alojar paquetes de alto volumen y reducir el número de cambios de cono.

La longitud debe estar perfectamente alineada con el sistema de guiado para evitar desgastes laterales y variaciones en la presión de contacto.

Rugosidad Superficial

La aspereza superficial Ra del cilindro es un parámetro vital, crucial, diría, para perfeccionar el agarre sin fastidiar el hilo. Habitualmente, los valores varían entre $0{,}3$ y $0{,}8$ μm; eso depende del tipo de material por el que se enrollará.

Con hilos finos y delicados como la seda o las microfibras, la rugosidad debe ser mínima, evitando así enganches o demasiada abrasión.

Para hilos más abultados o técnicos, es preciso aumentar la rugosidad para incrementar la fricción y evitar resbalones.

Un exceso de aspereza crea pelusa y merma la resistencia del hilo; sin embargo, una superficie demasiado pulida podría originar pérdida de tracción y cambios en la tensión.

Equilibrio Dinámico

A velocidades de bobinado superiores a $5000 - 6000$ rpm, el equilibrio dinámico del cilindro, es crucial porque un cilindro desequilibrado causa vibraciones transversales y radiales. Aquello, por su parte, reduce la calidad del patrón de bobinado uniforme, la durabilidad de los rodamientos y soportes, aumenta la fatiga mecánica, y disminuye la vida útil de la máquina. Para equilibrar el cilindro, este se calibra y se corrige en máquinas especiales que añaden o restan material; así, los fabricantes de cilindros certifican los mismos con niveles de desbalance residuales inferiores a 4 g·mm para aplicaciones de alta velocidad. La información de los catálogos , si bien son importantes, debemos tomarlos como referenciales, más no como una calibración estándar; es por esta observación que, las dimensiones del cilindro enrollador debe ser un trabajo de ingeniería donde también intervienen algunos datos estadísticos, sin dejar a un lado medidas que ya lo poseemos como el tamaño del cono en lo que respecta a peso y a dimensiones, el título y clase de hilo, la velocidad con la que se va a producir, la cursa del cono y el ángulo de enrollamiento.

4.6. Tipos y Formas de Cilindros

Durante el bobinado o enconado, la forma y superficie del cilindro influyen, sin duda, en la tracción, la tensión y el patrón de cómo se enrolla el textil. Escoger el cilindro correcto depende no solo del hilo y su composición, sino también de la velocidad y el patrón usado, o de cómo se va a desenrollar luego. Los cilindros se categorizan en cuatro grupos, según su diseño y función: lisos, ranurados, de doble zona, o especiales (Koranne, 2013; Murata Machinery, 2021).

4.6.1. Cilindros Lisos

Muestran una superficie brillante pulida, habitualmente hecha en acero cromado, aluminio anodizado o recubierta con cerámica dura. El punto fuerte reside en la uniformidad de contacto con el cono, permitiendo un arrastre suave y estable, y minimizando el deterioro del hilo, previniendo las marcas. Son la opción predilecta para hilos de algodón, poliéster o mezclas típicas, con grosores promedio de Ne 20 al 40 o *dtex* 150 al 500. En cuestión de fricción, el coeficiente dinámico μ en cilindros lisos de acero cromado tiende a fluctuar entre $0{,}25$ y $0{,}35$, exigiendo un control exacto de la presión de contacto para no patinar a gran velocidad. Estos cilindros son perfectos para procesos de alta producción que precisan estabilidad en la tensión.

4.6.2. Cilindros Ranurados

Incorporan micro canales helicoidales o longitudinales grabados en la superficie (ver Figura 4.3), cuyo objetivo es incrementar la fricción controlada y mejorar la evacuación de pelusa, polvo y microfibras durante el arrastre. El ángulo y profundidad de las ranuras influyen en la tracción y en la disipación de calor generada por la fricción. La profundidad de estos micro canales varía de $0{,}1 - 0{,}3$ y el ángulo helicoidal va desde los $20°$ a los $45°$ según el patrón de cruce del hilo.

Este tipo de cilindro es muy utilizado en hilos de baja torsión, fibras sintéticas texturizadas e hilos técnicos que requieren una tracción más efectiva sin aumentar excesivamente la presión de contacto.

Figura 4.3: Cilindro ranurado con canales helicoidales.



Nota. Fotografía de autoría propia, 2025.

4.6.3. Cilindros con Doble Zona

Diseñados con una parte central lisa y puntas texturizadas, o incluso recubiertos con materiales que ofrecen mayor fricción, como el caucho o el poliuretano. La zona central da estabilidad, y un arrastre uniforme; mientras, las extremidades aportan un control localizado, en las fases iniciales y finales del bobinado, donde el diámetro del paquete, varía mucho. Este diseño es en la producción de conos troncocónicos, para tejido de punto y urdido, donde se necesita mantener la tensión estable, a pesar de los cambios en la geometría del paquete. La combinación de zonas, permite optimizar el consumo de energía, y prolongar la vida del recubrimiento, porque las áreas críticas, están reforzadas.

4.6.4. Cilindros Especiales

Engloban todas aquellas variantes adaptadas a formatos de conos no convencionales o aplicaciones industriales específicas:

- Cilindros adaptados a núcleos cónicos: Tiene la característica de adaptarse al formato del cono para aprovechar la mayor cantidad de material que puede caber en dicho núcleo.
- Cilindros para tubos troncocónicos: Son diseñados específicamente para minimizar el desplazamiento axial del guía-hilos y obtener una superficie homogénea del paquete.
- Cilindros para bobinas cruzadas: Son especialmente diseñados para trabajar con ángulos de enconada variable y producir conos de gran almacenamiento, donde la presión y la fricción se adaptan conforme crece de diámetro el cono.

En estos casos, la geometría del cilindro y la sincronización electrónica con el huso se configuran mediante software de control, lo que permite ajustar el perfil de tracción a diferentes títulos de hilo y patrones de bobinado sin necesidad de cambio físico del cilindro.

La tipología del cilindro enrollador es un elemento de ingeniería funcional que, bien seleccionada, puede mejorar la eficiencia energética, prolongar la vida útil del recubrimiento y garantizar la uniformidad de tensión en un rango amplio de condiciones de operación. La transición desde cilindros lisos hasta diseños híbridos o especiales refleja la evolución hacia sistemas de bobinado adaptativo, capaces de integrarse en entornos de Industria 4.0 con control de parámetros en tiempo real.

4.7. Consideraciones Técnicas de Operación

La operación eficiente de los cilindros de enrollamiento en máquinas enconadoras y bobinadoras textiles requiere un control preciso de variables mecánicas, de contacto y de mantenimiento, ya que cualquier desviación puede impactar de forma directa en la calidad final del paquete, la estabilidad del hilo y la eficiencia global del proceso. Un cilindro mal ajustado o en condiciones de desgaste no solo altera la tensión de bobinado, sino que también provoca defectos estructurales en el patrón de enrollado, aumentando la tasa de rechazo y el riesgo de paros no programados (Koranne, 2013; Murata Machinery, 2021).

Uno de los aspectos que hay que tomar mucho en cuenta en este proceso es la presión entre el cilindro y el cono; la cual, debe mantenerse uniforme a lo largo de todo el proceso de bobinado. La falta de presión ocasiona patinaje *(slippage)*, la imposibilidad de controlar la tensión y enrollado flojo, mientras que una presión excesiva puede descomponer las capas internas del paquete, modificar el ángulo de cruce, alterar y romper las fibras más frágiles, sobre todo, en hilos de títulos finos.

La superficie del cilindro debiera estar libre de partículas adheridas, polvo, restos de parafina o microfibras, pues la presencia de estas incrustaciones modifica el coeficiente de fricción, produce saltos de tensión o bien, genera los microdefectos en el hilo. En recubrimientos de caucho o poliuretano, la contaminación superficial produce endurecimiento heterogéneo que a su vez, afecta la tracción; por lo que se recomienda tener un plan de limpieza periódico que contemple inspección visual, limpieza mecánica suave y limpieza con disolventes compatibles con el material del recubrimiento.

Este desgaste del cilindro, en cualquier caso, no es uniforme, ya que existe movilidad del material sobre las canastas y pérdidas de material en zonas específicas que pueden alterar el diámetro efectivo, el que a su vez puede modificar la velocidad periférica y el ángulo de cruce.

De acuerdo con lo descrito, es importante tener en cuenta lo siguiente:

- Hilos naturales (algodón, lana, lino): para estos tipos de hilos se necesitan cilindros que den suficiente fricción sin que ello dañe la superficie, de los que se recomienda que sean con recubrimientos cerámicos o metálicos y con acabado satinado.
- Hilos sintéticos (poliéster, poliamida, polipropileno): para estos tipos de hilos se necesitan cilindros con ranurado o recubiertos de caucho/poliuretano, dado que tienen una baja fricción, para mejorar el agarre de estos.
- Hilados de filamento continuo: Para enconar este tipo de material textil, es indispensable hacerlo en superficies supremamente pulidas, ya que cualquier rebaba por mínima que sea le puede dañar a los micro filamentos que se constituye el filamento final, no debemos despreocuparnos del control de la presión y velocidad de enrollamiento.

4.8. Reserva de Hilo Textil en Conos

En el contexto del enconado o bobinado textil, la reserva de hilo es la longitud inicial que se deja enrollada de forma controlada en la base del cono o núcleo, antes de comenzar el bobinado cruzado normal del paquete. Esta reserva se enrolla al inicio del proceso, en contacto directo con el núcleo, y constituye el punto de partida funcional del hilo para ser utilizado posteriormente en procesos industriales.

La reserva de hilo tiene un propósito técnico fundamental, el cual es garantizar el aprovechamiento total del paquete y evitar paros de las máquinas por falta de alimentación; sin esta reserva, una vez que el cono se haya consumido, no quedaría hilo suficiente adherido al núcleo para conectar con la siguiente fase del proceso, o conectar con el siguiente paquete; esta reserva permite anclar el hilo firmemente al núcleo en el inicio del bobinado; como ya manifestamos, aseguramos la continuidad operativa en procesos donde el paquete se desenrolla completamente. Otra ventaja de la reserva es facilitar el empalme con el siguiente hilo, especialmente en procesos automatizados, evitando desperdicios de hilo residual y maximizando el uso del material.

4.8.1. Procedimiento para realizar la reserva de hilo

La reserva de hilo en un cono textil es un segmento inicial de devanado que se deposita estratégicamente en la base del cono (zona de mayor diámetro) antes del inicio del bobinado principal. Su función es permitir que, en el uso final del paquete, el operario o el sistema de alimentación de la máquina receptora pueda encontrar y extraer el hilo inicial de manera rápida, segura y sin dañar la estructura del paquete (Koranne, 2013; Murata Machinery, 2021).

En las enconadoras automáticas, este proceso es completamente controlado por el sistema electrónico de la máquina, que coordina los movimientos del guía-hilos, la velocidad del huso y la presión del cilindro enrollador. La reserva debe cumplir con requisitos técnicos de longitud, tensión y ubicación precisa para asegurar su funcionalidad sin comprometer la compactación y estabilidad del paquete principal.

La secuencia técnica para la formación de la reserva en enconadoras automáticas es la que a continuación se presenta:

Preparación del Núcleo

Antes de iniciar el proceso, el cono o tubo vacío se posiciona en el huso de bobinado, sobre el cilindro enrollador. El sistema de guiado y sujeción lo mantiene alineado con el cilindro enrollador, asegurando una presión de contacto estable y uniforme.

Posicionamiento Inicial del Guía-hilos

El guía-hilos se sitúa en el extremo inferior del cono (base mayor) sin desplazamiento axial y debe estar fijo por el número de vueltas programado. Esto asegura que las primeras vueltas se concentren en una única zona, evitando un avance longitudinal prematuro.

Tipos de Reserva de Hilo

Cabe indicar que existen diferentes tipos de reserva de hilo según el sistema de bobinado, siendo los más conocidos los siguientes:

- Reserva por Fricción Directa En este sistema, el hilo se apoya sobre el cono y da algunas vueltas simples, aprovechando el giro del huso. Normalmente, se usa en hilos de título grueso o con suficiente rigidez.
- Reserva con Fijación Asistida En este se utilizan dispositivos de sujeción temporal para evitar que el hilo se desprenda antes del empalme. Es ideal para hilos finos o suaves como viscosa y microfibras.
- Reserva Interna Mediante Vacío Algunos sistemas de huso hueco absorben el hilo hacia la base desde el interior. Este sistema nos garantiza precisión sin riesgo de hilo suelto.

Activación del Modo de Reserva

El PLC (Controlador lógico programable) activa una programación predefinida en donde la cursa (avance axial) es nula y la velocidad de bobinado es moderada. Normalmente, la velocidad se sitúa entre un 20 % y un 30 % de la velocidad nominal para no incrementar la tensión del hilo inicial.

Formación de las Espiras Compactas

El hilo se deposita en vueltas helicoidales cerradas y de alta compactación, pero sin ejercer la presión que tendrá el bobinado principal. Esto se logra reduciendo el par motriz del cilindro enrollador y limitando el arrastre del hilo.

Cantidad de Reserva

Aproximadamente el número de vueltas que realiza son entre 5 y 12, dependiendo del título del hilo y del estándar de la planta, en metros son de 1,0 a 3,0 de hilo como reserva estándar; pero para procesos de urdido o teñido continuo, puede aumentarse a 4 o 5 metros si se requiere mayor seguridad, la tensión no debe ser tan ajustada para no deformar el núcleo, pero suficiente para evitar que la reserva se afloje durante la manipulación; es importante tomar en consideración el aseguramiento de accesibilidad, programando una breve pausa o reducción de presión antes de iniciar el bobinado principal, de manera que la reserva no quede aprisionada por capas subsecuentes.

Activación a la Producción Normal

La transición al bobinado principal, una vez formada la reserva, el guía-hilos activa el avance axial y el sistema entra en su patrón normal de bobinado cruzado o paralelo, con los parámetros de tensión, cursa y ángulo de cruce establecidos para el tipo de hilo procesado.

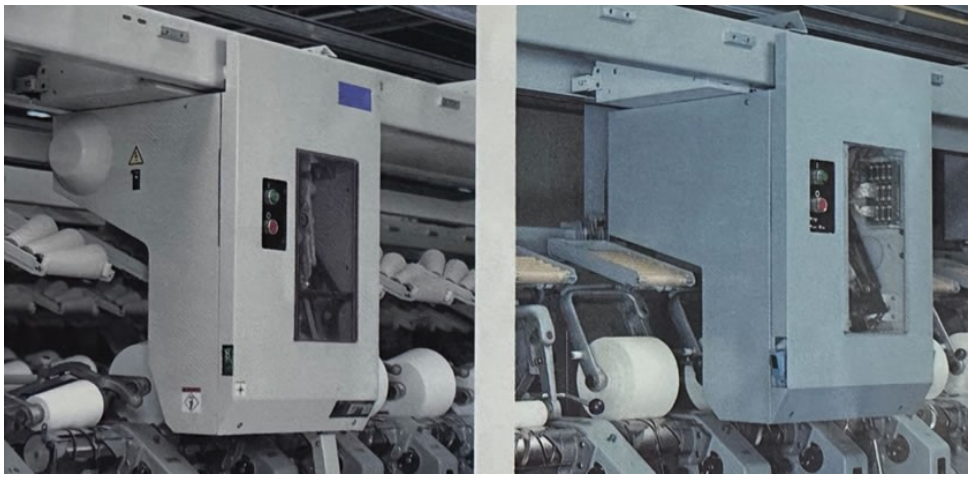
4.8.2. La Importancia de la Reserva en la Eficiencia Productiva

Una correcta reserva de hilo en la base del cono garantiza un desenrollado completo y controlado del paquete sin residuos, obligando a una conectividad funcional con otros paquetes o procesos (especialmente en urdido y tintura) con una reducción de mermas y tiempos muertos por fallas de conexión generando una compatibilidad con empalmadores automáticos (splicers) que requieren extremos claramente identificables; es tan importante la reserva que, en procesos automatizados, la presencia de la reserva facilita que los sensores detecten la posición de inicio del hilo y se ejecute el empalme o el cambio de paquete de forma eficiente.

4.9. Cambio Automático de Conos

En la actualidad, dentro de la industria textil, el cambio automático de conos o núcleos en las máquinas enconadoras representa un sistema de gran utilidad para la automatización del bobinado, tal como se observa en la Figura 4.4, logrando altos niveles de eficiencia, homogeneidad en la producción final y una gran reducción del tiempo improductivo.

Figura 4.4: Sistema de cambio automático de conos.



Nota. Imagen escaneada de *No. 7-V Mach Coner Bobbin-Tray Type* (Muratec, s.f.).

El cambio de cono es una operación insoslayable en el bobinado, cuando el hilo alcanza el límite de capacidad del paquete por longitud, diámetro o peso, hay que parar la alimentación al cono lleno y comenzar inmediatamente en un cono vacío; si el cambio de conos se hace manualmente, hay que parar la máquina, mover manualmente el huso, cortar, empalmar, reposicionar y reiniciar el proceso, lo que se traduce en un tiempo muerto y en generador de errores. Con el cambio automático de conos se evitan todas estas interrupciones y se incrementa considerablemente la productividad.

4.9.1. Secuencia Mecánica de Cambio Automático de Conos

En el proceso de la preparación de hilos para tejeduría y procesos posteriores, las enconadoras automáticas contemporáneas incorporan sistemas de cambio de conos de forma continua, con vistas a optimizar la productividad y asegurar la continuidad de la bobina, a la vez que se asegura un nivel de calidad constante. Este proceso se desarrolla a través de un conjunto de pasos, tanto mecánicos como electrónicos, que intervienen: los sensores, actuadores y un sistema de control lógico programable (PLC), de tal forma que se asegure la precisión, eficiencia y fiabilidad de cada ciclo de operación.

Detección del Cono Lleno

La máquina dispone de sensores ópticos, como las barreras fotoeléctricas, de tipo electrónico o mecánico (palpadores de contacto), que llevan a cabo la medida en continuo del diámetro, del peso o de la longitud acumulada del paquete. El sistema percibe la llegada al límite correspondiente y predefinido (por ejemplo, el valor nominal en un diámetro de 170

mm para conos de tejeduría plana o bien el peso objetivo que se busca en función de los hilos técnicos), envía la señal de salida al PLC para iniciar la secuencia de cambio. Este punto de activación es el que se considera que ha llegado el momento y se ha calculado cuidando de no sobrellenar el paquete, con riesgo de su deformación o de una excesiva tensión de forma interna.

Activación del Freno de Huso

El huso portador del cono lleno es detenido bien por medio del freno neumático, bien por el freno electromagnético o bien por el freno mecánico. En el caso de hilos de alta tenacidad o fibras sintéticas de bajo alargamiento, el frenado ha de ser progresivo, para no producir picos de tensión que superen el máximo que puede soportar el hilo, que es el que lo rompería, antes de llegar al corte del hilo. La finalidad es la detención del cono portador en milisegundos sin provocar desplazamiento alguno no deseado en la capa que está en el margen final del bobinado.

Corte de Hilo

El corte del hilo lo ejecutan cuchillas oscilantes de acero templado, guillotinas de acción vertical o resistencias incandescentes en el caso de filamentos termoplásticos. La posición o localización del corte normalmente se hace a algunos centímetros del paquete y se bloquea el hilo en su fase de descenso para así no perder parte del hilo en el desperdicio y que el extremo resultante tenga la longitud adecuada para el empalme, además de no perder tensión y que no haya una mala alineación.

Retención del Hilo Cortado

El extremo libre se aspira de inmediato a un sistema de reserva temporal, mediante vacío o succión neumática, para evitar enredos, descargas de tensión o contaminación; a la par, el sistema prepara el extremo de alimentación del nuevo paquete (deshilachado o apertura controlada en splicers de aire, agua o fricción).

Expulsión del Cono Lleno

El cono lleno se expulsa mediante un brazo robotizado, una garra que da la vuelta o un empujador neumático, mientras que, en líneas automatizadas, el paquete terminado pasa a cintas transportadoras, bandejas clasificadoras o sistemas de embalaje. Para hilos delicados, la manipulación también incluye los correspondientes amortiguadores y recubrimientos blandos, a modo de protección y para evitar deformaciones superficiales.

Colocación del Cono Vacío

Sobre el uso tenemos un alimentador rotativo o una tolva para el posicionamiento de los conos vacíos y de forma automática un nuevo núcleo cae sobre el porta conos. La disposición puede incluir medios de alineación láser o sensores inductivos, de manera que el cono se encuentre centrado y orientado con respecto al cilindro enrollador. El contacto se mantiene uniforme y estable en el proceso de bobinado.

Empalme del Hilo

El empalmado automático (neumático, hidráulico, térmico o mecánico) realiza la unión del extremo del hilo que se retiene con el arranque del nuevo cono. Este empalme debe cumplir con las especificaciones, es decir: resistencia $\geq 95\,\%$ del hilo original, un volumen mínimo y una apariencia de unión que no dé lugar a problemas en el urdido, la tejeduría o la confección.

Reinicio del Bobinado

Una vez verificado el empalme y la correcta colocación del cono, el PLC reactiva la rotación del huso y el cilindro enrollador, también el desplazamiento del guía-hilos y restablece el patrón de bobinado, cruzado o paralelo. Este reinicio se lleva a cabo sin la intervención humana y con la mínima pérdida de tiempo de ciclo; en plantas de fabricación de alto rendimiento, tal afirmación puede suponer mejoras de hasta un $15\,\%$ en su eficiencia.

4.9.2. Componentes Técnicos Claves en el Cambio Automático de Conos

El cambio automático de conos en las máquinas enconadoras o de bobinado se establece como una de las innovaciones más relevantes de la industria textil moderna, ya que permite llevar a cabo la continuidad del proceso del bobinado sin tener que detener la producción. Se trata de un sistema que integra una serie de componentes electromecánicos y de control y que van funcionando de manera sincronizada para conseguir un cambio de conos que sea fluido, preciso y seguro.

Sensor de Llenado

El sensor de llenado es el primer elemento que determina el inicio de la secuencia de cambio. Existen varios tipos:

- Sensores de contacto (palpadores): trabajan mediante un brazo mecánico que detecta directamente el aumento del diámetro del cono; son comunes en hilos de títulos gruesos donde la superficie del paquete es estable.
- Sensores ultrasónicos: emiten ondas que, al reflejarse en la superficie del paquete, permiten calcular su diámetro con gran exactitud; se utilizan en hilos delicados y de alta regularidad.
- Sensores ópticos: mediante haces de luz, identifican el crecimiento del paquete y generan la señal de llenado; son de uso extendido en enconadoras automáticas modernas, especialmente en fibras sintéticas o mezclas.

La elección del sensor depende del tipo de fibra, título de hilo y nivel de precisión requerido en el proceso.

Sistema de Freno

El freno tiene la función de detener el huso portador del cono lleno en el momento exacto, evitando giros residuales que podrían causar desajustes en el corte del hilo, además de fibras fluctuantes dada la rotación del cilindro. Los más comunes son los frenos electromagnéticos, sincronizados con el sistema de tensión; en hilos de alta tenacidad (poliéster de filamento, nylon), el frenado debe ser progresivo para evitar roturas bruscas, y por último, en fibras

naturales (algodón, lana), puede usarse un freno neumático con amortiguación ligera para proteger la estructura del hilo.

Cortador de Hilo

El cortador es el componente que separa el hilo del cono lleno y libera el extremo para el empalme en el nuevo cono, puede estar integrado en línea con el purgador, lo que permite combinar limpieza y corte en un solo paso; en otras configuraciones, es un sistema independiente que opera con cuchillas oscilantes, guillotinas o incluso con corte térmico para hilos termoplásticos, la precisión del corte es fundamental, un corte irregular puede generar dificultades en el empalme posterior o afectar la calidad del paquete.

Controlador Electrónico (PLC)

El PLC (Controlador Lógico Programable) es el cerebro del sistema, el encargado de sincronizar sensores, motores, frenos, cortadores y brazos mecánicos; entre otros. Viene calibrado de fábrica con parámetros base, pero cada planta puede programar ajustes específicos de acuerdo al tipo de hilo procesado; además, controla alarmas y registros estadísticos que permiten monitorear la eficiencia del sistema y anticipar mantenimientos preventivos.

Ventajas Operativas del Sistema Automático

El ahorro de tiempo de hasta un $90\,\%$ respecto al cambio manual es lo primordial en este sistema, evitando la intervención humana por lo que debería esperar el huso parado hasta que se acerque el operario a llevar a cabo el cambio, lo que no sucede con el cambio automático; como se debe comprender, el operario tendrá un menor desgaste físico reduciendo la fatiga, esta acción garantiza también una alineación perfecta del hilo y una precisión del empalme sin inconvenientes. Como es de entender, esta acción continua del cambio de cono, mejora la calidad del cono final, ya que se hace sin interrupciones o tensiones irregulares, obteniendo un mejor desenrollamiento en los procesos posteriores.

Dentro de las recomendaciones para el correcto funcionamiento de este proceso, debemos tener claro algunas observaciones que son sensibles:

- Calibrar periódicamente los sensores de llenado y posición.
- Lubricar y limpiar los brazos mecánicos y mecanismos móviles.
- Comprobar la compatibilidad de conos vacíos, si es que trabajamos con conos de papel o plásticos de distintos ángulos de trabajo.
- Formar al personal técnico para que realice el ajuste de los parámetros respectivos en función del tipo de hilo, título y velocidad de producción.

El sistema de cambio automático de conos en las enconadoras o bobinadoras textiles puede considerarse un avance en términos de automatización, pero también representa un recurso estratégico para conseguir eficiencia, continuidad y buena calidad en los procesos de producción textil. El conocimiento técnico del mismo, así como su correcta operación, permite optimizar su rendimiento, aumentar la calidad final del hilo y disminuir los costes operativos en un entorno industrial que presenta cada vez una competencia más feroz.

4.10. Conos Textiles

Dentro de la industria textil, un cono es un elemento de soporte rígido en forma troncocónica, como lo observamos en la Figura 4.5, se utiliza para enrollar y almacenar hilo, de forma ordenada, estable y funcional, en especial en el proceso de enconado o bobinado. Sus diferentes geometrías facilitan tanto el enrollado como el desenrollado de los hilos, ya que siempre debemos tener en consideración la utilización en los procesos posteriores.

Los conos troncocónicos textiles, tienen algunas ventajas sobre otras formas o núcleos de enrollamiento, como el caso específico de las bobinas cilíndricas, en los conos permiten procesos productivos suaves, continuos, controlados, a altas velocidades, lo que facilita y aporta a una producción continua, especialmente cuando éstos son totalmente automatizados.

Figura 4.5: Diferentes formas, modelos y usos de conos textiles.



Nota. Imagen escaneada de *Pinter Payas* (Pinter Payas, s.f.).

Los conos textiles cumplen una doble función en la cadena de preparación del hilo:

- Soportar el hilo en una forma estructuralmente estable, adaptada al tipo de maquinaria, en especial a la porta cono, siempre pensando en los procesos que se utilizarán posteriormente.
- Garantizar un desenrollado eficiente y sin fallos, lo cual requiere una geometría optimizada y una superficie adecuada para evitar bloqueos, torsiones o roturas.

Por ello, la selección del tipo de cono depende de variables como el tipo de hilo, el proceso posterior, la velocidad de uso, el sistema o tipo de desenrollado (axial o tangencial) y el tipo de máquina textil involucrada.

4.10.1. Tipos de Conos Textiles Según su Diseño

Los conos textiles presentan variaciones en su forma, tamaño, ángulo de inclinación, material, colores y sistema de soporte, según la aplicación específica; a continuación, se describen los principales tipos:

Cono Troncocónico Estándar

En la industria textil, el término cono troncocónico hace referencia al tipo más común de soporte o núcleo sobre el cual se enrolla el hilo durante los procesos de enconado, bobinado o rebobinado. Su nombre proviene de su forma troncocónica (el esquema de un cono desde el que se ha cortado el vértice, con una base mayor y una base menor unidas por una superficie inclinada), y que cumple con la función técnica básica en la estabilidad del paquete de hilo, el control del desenrollado y el hecho de adaptarse a las exigencias productivas de la industria.

Desde el punto de vista mecánico y textil, el cono troncocónico estándar hace posible una disposición uniforme de las capas del hilo, al ser el ángulo de conicidad habitual de entre $3°51'$, $4°20'$, $5°57'$ y $9°15'$, variando, por supuesto, en función de las exigencias concretas de una maquinaria y del hilo por trabajar.

Una de las características fundamentales radica precisamente en que es universalmente compatible con las enconadoras y bobinadoras textiles más extendidas en la industria, de tal forma que se trata de un formato estandarizado y, por tanto, ampliamente utilizado en diversos segmentos de la producción, desde hilaturas de algodón hasta la elaboración de filamentos sintéticos; además, su estandarización en un formato internacional permite la compatibilidad con máquinas de producción en línea y asegura, en consecuencia, que el hilo se presente en paquetes que sean homogéneos en los aspectos de densidad, de ángulo de cruce y de reserva, lo que lo hace determinante en el aseguramiento de la calidad del hilo para su uso posterior.

Cono Cilíndrico

El cono cilíndrico textil es un tipo de soporte utilizado en procesos específicos de la industria textil, caracterizado por tener paredes completamente paralelas, lo que le confiere una geometría uniforme desde la base hasta la parte superior. A diferencia de los conos troncocónicos, donde existe una inclinación en sus paredes laterales, el cono cilíndrico mantiene el mismo diámetro en toda su longitud, lo cual lo hace idóneo para aplicaciones donde se requiere un bobinado paralelo, es decir, una disposición del hilo en capas superpuestas de manera recta y sin ángulo de cruce significativo.

En el teñido en paquetes, su forma cilíndrica permite un flujo homogéneo de los colorantes o de los productos químicos, ya que la densidad de la masa no varía entre los extremos ni en la parte central, lo que permite una penetración y acabado uniforme de toda la masa textil.

Una de las propiedades del cono cilíndrico es la posibilidad de obtener paquetes con densidad uniforme en toda la longitud de la masa, reduciendo los problemas derivados de tensiones diferentes durante el desenrollado y favoreciendo la extracción axial directa, lo que lo convierte en un soporte fiable lo que garantiza la continuidad del hilo. No obstante, también tiene sus limitaciones, es el menos apropiado para los procedimientos que precisan de bobinado cruzado con niveles elevados de compactación, puesto que su carencia de conicidad puede dar lugar a deslizamientos en aplicaciones de tejido de punto o plano en aquellas situaciones en las que no se aplican sistemas de guiado de hilo oportunos. El cono cilíndrico es el componente de especialización en la industria textil, que se plantea para dar respuesta a necesidades más concretas relacionadas con su uniformidad, con una densidad constante y con

una extracción axial controlada.

Tubo de Teñido o Huso Perforado

El tubo de teñido, también denominado cono perforado, es un elemento fundamental dentro de los procesos de teñido en paquete de hilos textiles. Su diseño se caracteriza por tener una forma cilíndrica y una superficie perforada que permite la circulación controlada de los baños de tintura, productos químicos y agua de enjuague a través del hilo enrollado. Este principio constructivo es indispensable para lograr una difusión uniforme del colorante en toda la masa textil, garantizando la homogeneidad cromática tanto en la superficie externa como en las capas más internas del paquete.

Este tipo de tubo reviste un especial interés para su utilización en máquinas de teñido, autoclaves, overflow y jet, donde el proceso se basa en la circulación forzada del baño de tintura a través del paquete de hilo.

La estructura cóncava del tubo realiza la función de canal que permite conducir el flujo del baño de tintura, permitiendo que el líquido transcurra del interior hacia el exterior (flujo centrífugo) o a la inversa (flujo centrípeto); de esta forma se obtiene un teñido completo y calculable, eliminando las zonas del paquete con probabilidades de manchas o diferencias de tono.

Desde el punto de vista funcional, el tubo de teñido permite la carga axial del hilo en forma paralela, es decir, aplicando un bobinado paralelo (straight winding), lo que permite garantizar un paquete que sea compacto, con una densidad determinada y con alta permeabilidad al baño de tintura; este hecho es importante, ya que la densidad del paquete puede influir en el teñido del hilo; si es demasiado baja y se engrosará durante la circulación; si es demasiado alta, el baño no llegará a penetrar todo el paquete, provocando diferencias de tono, el tubo de teñido o huso perforado es un componente especialmente diseñado para tintura en paquete que garantiza la eficiencia del teñido, actuando como soporte físico y funcional del hilo durante el proceso.

Conos de Base Doble (tubos bidireccionales)

Los conos de base doble, también conocidos como tubos bidireccionales, son soportes cilíndricos diseñados para procesos de enconado y rebobinado automático en máquinas de alta velocidad, en los que se requiere versatilidad y continuidad operativa. Su rasgo distintivo es la presencia de dos bases simétricas, que permiten que el cono pueda ser montado en cualquiera de sus extremos, garantizando un conector bidireccional en lugar de la tradicional base única.

Este diseño se adecua a las exigencias de la industria textil contemporánea, donde la disminución de los tiempos muertos y la mejora de la sucesión del cambio de conos son los elementos que influyen decisivamente en la productividad. En las enconadoras automáticas, la utilización de conos de base doble permite el cambio rápido y sin errores de orientación, ya que el tubo puede introducirse en el huso sin tener que verificar la posición o el sentido, ya que no puede ser errónea; de este modo, se evita una posible falla humana en la introducción.

Mecánicamente, los conos de base doble se presentan como equilibradores dinámicos a altas revoluciones, hecho que resulta necesario en máquinas que superan las 1.500 – 1.800 m/min de velocidad de bobinado. Sus extremos suelen contar con anillos reforzados de apoyo que aseguran un buen ajuste en el uso de la máquina y, además, atenúan las vibraciones, garantizando así un bobinado uniforme.

La relevancia de este tipo de conos es que van destinados a la mejora del rendimiento de los sistemas automatizados de enconado de hilos, dado que intercambian paquetes de forma rápida, evitando paradas prolongadas, simetría de ensamblado, que elimina errores al colocar

el cono, compatibilidad con los sistemas automáticos de carga y descarga de los mismos.

En lo que respecta a eficiencia, los conos de base doble son importantes para las plantas industriales de gran tamaño, donde la continuidad de la operación es fundamental, y para las enconadoras que trabajan con sistemas automáticos de cambio de usos (doffing). La mejora de la ergonomía del operario y el incremento de la seguridad y de estabilidad del proceso para evitar las deformaciones del paquete final, son mejoras importantísimas. Los conos de base doble o tubos bidireccionales son el resultado de un avance en la estandarización y optimización de los sistemas de bobinado textil de forma automática, siendo hoy una de las soluciones más eficaces para conseguir altos niveles de velocidad, productividad y calidad del proceso de formación de paquetes.

4.10.2. Materiales Utilizados en la Fabricación de Conos Textiles

Los conos deben poseer unas propiedades como la robustez, la estabilidad, el bajo peso y su armonización al tipo de hilo, así como al proceso de hilado al que se han de someter. Los materiales más empleados son:

- Cartón prensado o papel laminado: es barato, reciclable y apropiado para un solo uso, si la resistencia lo permite. En el mercado existen también conos de cartón que son resistentes y se adecúan para procesos secos.
- Plástico (PP, PE, ABS): alta durabilidad, lavables, reutilizables y con una buena resistencia química para ser empleado en tintorerías y tejeduría.
- Materiales compuestos o reforzados: combinación de polímeros con refuerzos estructurales, usados en maquinaria moderna que requiere alta precisión.
- Aluminio o acero inoxidable (poco empleados): se usa en aplicaciones técnicas especiales, p. ej. teñido de hilos industriales o de alta temperatura.

Dimensiones y Ángulos de los Conos Textiles

En la industria textil, los conos o tubos sobre los cuales se realiza el bobinado del hilo representan un elemento fundamental, pues su geometría condiciona directamente la estabilidad del paquete, la densidad de las capas, el desenrollado posterior y la compatibilidad con los distintos equipos que intervendrán en las siguientes etapas productivas.

Las dimensiones del cono se encuentran normalizadas en gran medida por los fabricantes de maquinaria y accesorios textiles, con el fin de garantizar la intercambiabilidad entre equipos y procesos La altura del cono puede situarse en torno de los 150 hasta 300 mm, en función de la capacidad de hilo que exija el formato del paquete; al mismo tiempo, la base mayor se ubica a menudo entre 50 mm y 70 mm para proporcionarle la estabilidad adecuada que permita soportar el paquete durante el bobinado y asentarlo correctamente sobre el uso de la enconadora; por otro lado, la punta tiene un diámetro inferior, que suele calcularse entre 20 mm y 35 mm, para ser mucho más fácil de controlar la iniciación del proceso de bobinado y, a la vez, la operación de desenrollado en eje axial controlado.

Uno de los parámetros más interesantes y, a su vez, uno de los parámetros más interesantes es el ángulo del cono, estipulado también como ángulo de conicidad, que marca la forma del paquete compacto; este ángulo determina la relación de la altura del cono respecto a la diferencia de los diámetros que hay entre la base y la punta, el cual incide, en gran medida, sobre la densidad de la bobina, la fricción generada en la bobina y la estabilidad del paquete. Los valores más utilizados en la industria textil son los siguientes:

- $3°51'$: considerado un estándar utilizado ampliamente por su equilibrada carga y estabilidad en el desenrollado.
- $4°20'$: utilizado en el proceso de hilatura de algodón, es muy común, ya que es fácil de bobinar, además de que la bobina a ser obtenida se adecua para el posterior urdido o tejido.
- $5°57'$: es un ángulo mayor que permite obtener paquetes compactos y de gran densidad, utilizado especialmente en procesos de teñido o de tejeduría especializada donde se requiere máxima estabilidad dimensional.
- $9°15'$: corresponde a conos de elevada conicidad, diseñados para sistemas de bobinado de gran capacidad; sin embargo, su uso exige un control estricto de la tensión para evitar deformaciones o desplazamientos de capas.
- $0°$: asociado a tubos cilíndricos sin inclinación, empleados en procesos como el teñido en autoclave o el urdido seccional, donde se necesita un bobinado paralelo y perfectamente uniforme.

La selección del ángulo y de las dimensiones del cono no es arbitraria, depende tanto del tipo de hilo (fibra corta, filamento, mezcla, elasticidad y título) como de las condiciones de procesos posteriores. Por ejemplo, en el tejido de punto se prefieren conos con ángulos de conicidad más bajos que aseguren un desenrollado suave y sin saltos, mientras que en procesos de teñido en paquete se utilizan tubos cilíndricos o de alta conicidad que garantizan un flujo uniforme del baño de tintura a través de la masa del hilo.

Aplicaciones Según Tipo de Cono

- Tejido plano y de punto: Conos troncocónicos con bobinado cruzado, desenrollado tangencial o lateral.
- Urdido seccional o directo: Tubos cilíndricos con bobinado paralelo y desenrollado axial.
- Tintorería: Conos cilíndricos perforados (plástico), adecuados para flujos de líquido a presión.
- Costura y bordado industrial: Conos ligeros con excelente estabilidad, adaptados a altas velocidades de extracción.

Consideraciones Técnicas y Funcionales de los Conos Textiles

Para garantizar un desempeño adecuado en los procesos de bobinado y en los subsecuentes usos industriales del hilo, es imprescindible que los conos textiles cumplan con un conjunto de requisitos técnicos y funcionales. En primer lugar, los conos deben estar libres de deformaciones, humedad o daños estructurales, ya que cualquier irregularidad en la geometría o en la integridad del material repercute directamente en la estabilidad del paquete, generando problemas de colapso, desenrollado irregular o variaciones en la densidad y tensión del bobinado; asimismo, la presencia de humedad puede comprometer no solo la rigidez del cono, especialmente en los modelos de cartón, sino también la calidad del hilo al propiciar condiciones adversas como manchas, pérdida de propiedades superficiales o un incremento del coeficiente de fricción.

Otro tema importante es el acoplamiento de los husillos de la máquina enconadora, dado que cada husillo está configurado para trabajar con conos de dimensiones y ángulos específicos, y un desacoplamiento entre el cono y el husillo puede dar lugar a deslizamientos, vibraciones o a un asentamiento incorrecto del paquete, lo que redunda en una menor eficiencia de producción y en un menor ciclo de vida de la máquina.

La fricción superficial del cono es además un parámetro fundamental, la superficie del cono tiene que proporcionar la resistencia adecuada para posibilitar el anclaje inicial del hilo que asegure el arranque del bobinado, sin que ello suponga un exceso de freno que impida el desenrollado ulterior, lo que es especialmente sensible en los procesos de urdido, tejido de punto o teñido en paquete, donde la continuidad del suministro del hilo es esencial para evitar defectos en la tela o bloqueos de la producción.

Finalmente, en aplicaciones de bobinados densos o teñidos en autoclave, los conos deben demostrar resistencia mecánica suficiente frente a la presión ejercida por el hilo y por el baño de tintura, un cono con baja resistencia puede deformarse o colapsar bajo estas condiciones, comprometiendo la penetración uniforme del colorante y; por ende, la calidad del teñido. Por ello, en estas situaciones se recurre con frecuencia a tubos cilíndricos perforados de alta resistencia, fabricados en plásticos técnicos o aleaciones metálicas, que ofrecen la estabilidad y durabilidad necesarias.

Métodos de Medición de la Dureza del Paquete

La medición de la dureza de los paquetes debe ser continua, ya que de esta manera podemos darnos cuenta de que existen eventuales problemas en una o varias partes de los sistemas que conforman la cabeza de bobinado de una máquina. Entre las más importantes, podemos citar a las siguientes:

- ***Medición por Penetración (Duroscopio textil)***: El método clásico utiliza un penetrómetro o durómetro textil, el cual mide la fuerza (F) necesaria para introducir una aguja estándar en la superficie del paquete hasta cierta profundidad (d).

  Para determinar la dureza tenemos la Ecuación 4.8 (Callister & Rethwisch, 2018), en la que se expresa en $\mathrm{cN/cm^2}$ y refleja la resistencia radial del paquete.

$$\text{Dureza} = \frac{F}{\text{Area}_{\text{penetracion}}} \tag{4.8}$$

  Entre las ventajas de este método, podemos señalar que es directo, y ampliamente aceptado en control de calidad. La limitación radica en que mide únicamente la dureza superficial, no siempre igual que la densidad interna.

- ***Compresión Radial***: Consiste en aplicar una presión uniforme (P) con placas paralelas sobre el paquete y registrar la deformación radial (Δr).

  Se obtiene un valor de módulo de compresión, a partir de la Ecuación 4.9 (Mazurek et al., 2013), que refleja la homogeneidad de la dureza en diferentes zonas (base, centro y punta).

$$\textit{Módulo} = \frac{\Delta P}{\Delta r} \tag{4.9}$$

  Entre las ventajas está que permite conocer variaciones de densidad interna, lo que nos da una seguridad de la dureza del cono en toda su estructura; pero también, tiene sus

limitaciones, es un método más complejo, requiere equipos de laboratorio especializados, resultando un sistema más costoso.

- ***Métodos Ultrasónicos***: Los ultrasonidos permiten medir la densidad interna del paquete mediante la velocidad de propagación de las ondas acústicas; a mayor densidad, mayor es la velocidad de transmisión; entre las ventajas tenemos que no es un método destructivo, además de analizar la dureza interna. La limitante es el elevado costo de los equipos y la necesidad de calibraciones específicas según el material.
- ***Sensores Ópticos y Electrónicos Integrados***: Las enconadoras automáticas modernas integran sensores que controlan en tiempo real la presión de bobinado, corrigiendo desviaciones automáticamente. Estos sistemas basados en PLC y algoritmos de retroalimentación permiten mantener la dureza dentro de rangos muy estrechos ($\pm 5\,\%$). Los ejemplos más relevantes de estos sensores, son las enconadoras *Autotense FX* de *Schlafhorst*, las cuales ajustan la tensión de bobinado en tiempo real, garantizando paquetes homogéneos para hilaturas finas de algodón peinado Ne $40 - 60$.
- ***Métodos Empíricos de Planta***: A nivel operativo, en talleres pequeños se sigue utilizando la prueba manual de "apretado del cono" para verificar la dureza. Si bien es subjetivo y poco preciso, permite detectar conos excesivamente blandos o duros antes de enviarlos a producción.

En la Tabla 4.1, hemos compactado la información impartida, sintetizando los parámetros clave que afectan la dureza del material textil en el cono, dando una descripción que suscita las consecuencias que tiene sobre el material.

Tabla 4.1: Parámetros Clave que Afectan la Dureza del Paquete Textil

Parámetros Clave que Afectan la Dureza del Paquete Textil		
Parámetro	**Unidad**	**Descripción**
Título del hilo	tex, Ne, Nm	Influye en el volumen ocupado por unidad de longitud.
Tensión de bobinado	cN	Directamente relacionada con la compactación del hilo.
Densidad de enrollado	g/cm^3	Masa total del hilo por unidad de volumen del paquete.
Tipo de bobinado	—	Cruzado (mejor estabilidad) o paralelo (mayor densidad axial).
Tipo de fibra	—	Afecta la compresibilidad, rigidez y recuperación elástica del hilo.
Humedad relativa	% HR	Influye en la elasticidad de fibras como algodón o viscosa.

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 4.2, tenemos un resumen donde se explica cómo la dureza está relacionada con las características de las materias primas textiles, su estabilidad y las consecuencias de dicha dureza.

Tabla 4.2: Características de Dureza Según Tipo de Hilo Textil

Características de Dureza Según Tipo de Hilo Textil					
Tipo de hilo	**Fibra base**	**Compresibilidad**	**Estabilidad en paquete**	**Dureza relativa**	**Observaciones técnicas**
Algodón peinado	Fibras cortas	Media	Alta	Media	Buena compactación sin deformación interna.
Poliéster texturizado	Filamento	Baja	Muy alta	Alta	Gran estabilidad, ideal para bobinados densos.
Acrílico cardado	Fibras voluminosas	Alta	Media	Baja a media	Fácil de comprimir, requiere menor tensión de bobinado.
Viscosa hilada	Fibras celulósicas	Media a alta	Media	Media	Sensible a humedad; debe cuidarse de la tensión de bobinado.
Hilo retorcido (algodón)	Hilo doble	Baja a media	Alta	Alta	Alta estabilidad axial; permite bobinados firmes.

Nota. Elaboración propia.

Capítulo 5

Mantenimiento, Calidad y Prevención de Defectos en Máquinas Enconadoras Textiles

El mantenimiento, la calidad y la prevención de defectos en máquinas enconadoras textiles constituyen pilares fundamentales para garantizar la eficiencia y fiabilidad de los procesos posteriores en la cadena de producción textil. Para llegar a esos estándares, se hace necesaria una atención sistemática, preventiva y correctiva. La atención preventiva permite alargar la vida de los componentes determinantes como los cilindros de bobinado, los tensores y los purgadores y sistemas de empalme, recortando paradas imprevistas y evitando alteraciones en la calidad del paquete. Por su parte, el mantenimiento correctivo asegura la rápida detección y reparación de fallas, evitando que defectos puntuales se propaguen en grandes volúmenes de producción.

El control de calidad en la etapa de enconado, no se limita a la inspección visual de los conos producidos; implica también la medición de parámetros técnicos como la densidad del paquete, la uniformidad de la tensión, el ángulo de cruce, la dureza del enrollado y la limpieza del hilo tras el purgado. Los medios de control, apoyados en instrumentos de medida apropiados, garantizan que los conos alcancen los requisitos de procesos industriales cada vez más automatizados y de alta velocidad.

Finalmente, la prevención de defectos supone una acción estratégica para minimizar mermas y rentabilizar la producción, algunos de los defectos que pueden causar roturas en los conos, como conos deformados, conos colapsados, conos que presentan zonas con dureza no adecuada o conos que registran zonas con acumulación irregular de hilo, están íntimamente ligadas con la disminución de la eficiencia operativa hasta llegar a poner en jaque la calidad final del tejido o producto que se esté fabricando. La prevención se alcanza gracias a la combinación de sincronización de los parámetros de máquina, formación permanente del personal y la concurrencia de tecnología moderna que opera a partir de sensores electrónicos, y que incluye también sistemas de autodiagnóstico y de control online.

Cuando se habla de mantenimiento, de calidad y de prevención de defectos de máquinas enconadoras se está tratando un asunto que es esencial en la ingeniería textil actual, donde concurren tecnología y control técnico con la gestión de procesos garantizando la fiabilidad del hilo acondicionado, la optimización de los recursos y la consolidación de la competitividad de las empresas textiles en un entorno en el que las exigencias son cada vez mayores.

5.1. Mantenimiento de Máquinas Enconadoras

Las máquinas enconadoras para fibras textiles están sometidas a un elevado desgaste por la exigencia y continuidad de los procesos de hilado y rebobinado que requieren, y deben someterse, por lo tanto, a un exigente mantenimiento preventivo a fin de evitar costos innecesarios y garantizar el correcto funcionamiento de las máquinas, la calidad del paquete de hilo producido y su calidad en las operaciones posteriores. Las máquinas enconadoras deben estar en función de la disponibilidad del funcionamiento de las maquinarias de hilaturas según orden de fábrica y redistribuir las máquinas de proceso en función del suministro de hilados y al proceso de tejido; también, asegurarse del eficaz calibrado de los tensores y establecer las correctas conexiones del proceso de fabricación del paquete textil de acuerdo con los cálculos y consideraciones descritas anteriormente.

5.1.1. Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo corresponde a un conjunto de acciones programadas y sistemáticas que buscan conservar el correcto funcionamiento de la enconadora. Entre las principales actividades se incluyen la lubricación periódica de rodillos de tracción, guías

móviles, engranajes y motores eléctricos, lo que reduce la fricción, evita el sobrecalentamiento y prolonga la vida útil de las partes en movimiento; asimismo, la limpieza técnica de cabezales, tensores, sensores ópticos, purgadores y sistemas de parafinado resulta indispensable, dado que las fibras sueltas y el polvo textil son las principales causas de obstrucción y mal funcionamiento en la calibración de tensiones (Sanjay & Gupta, 2021).

La verificación y ajuste de tensores y frenos de alimentación se realiza para mantener la uniformidad del bobinado, incluso pequeñas variaciones en la tensión pueden generar defectos graves como conos deformados, colapsados o con durezas irregulares: en enconadoras automáticas, este mantenimiento incluye la calibración de sensores de llenado, variadores de frecuencia, módulos de control lógico programable (PLC) y pantallas HMI, que permiten monitorear y configurar parámetros de producción (Murthy, 2014). Finalmente, se contempla la revisión periódica de los mecanismos de expulsión de conos llenos y carga de conos vacíos, cuyo fallo interrumpe el ciclo automático y reduce la productividad de la máquina.

5.1.2. Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo se aplica en respuesta a fallas inesperadas o comportamientos anómalos del equipo, este puede implicar la sustitución de partes y pieza eléctricas, electrónicas, electromagnéticas y mecánicas, sensores de rotura de hilo, cuchillas de corte automático o rodamientos de los cilindros enrolladores; en muchas ocasiones, la recurrencia de estas intervenciones correctivas es síntoma de una planificación deficiente en el mantenimiento preventivo (Groover, 2015). Entre las reparaciones más habituales, pero a la vez que requieren mayor precaución, conocimiento y preparación es la substitución de las piezas electrónicas en especial de los módulos de control y sus tarjetas, sin dejar de tomar en cuenta la precaución y la calibración de piezas mecánicas, en especial aquellas que se desgastan por el roce continuo con el material textil.

Es de recalcar que, cuando cambiamos una pieza, del tipo que sea, es indispensable realizar un análisis de los motivos del daño, no podemos limitarnos a únicamente cambiar las piezas sin una evaluación consciente y crítica de la causa. Por ejemplo, un exceso de mantenimiento correctivo en tensores puede estar relacionado con un inadecuado sistema de filtración del aire o con polvo textil acumulado, lo que demanda un rediseño de los protocolos de limpieza más que una simple sustitución de componentes (Murthy, 2014).

5.1.3. Mantenimiento Predictivo

En las plantas textiles modernas, se implementa con mayor frecuencia el mantenimiento predictivo, que consiste en la incorporación de sensores en tiempo real para monitorear variables críticas como vibración, temperatura, consumo eléctrico y presión de aire en splicers neumáticos, estos datos son procesados por sistemas de análisis que permiten identificar patrones de deterioro antes de que se produzca una falla mayor (Lockuán Lavado, 2012b).

Este enfoque se apoya en tecnologías de Industria 4.0, integrando plataformas de monitoreo remoto y sistemas de alerta temprana que comunican anomalías directamente a los técnicos de mantenimiento; de esta forma, se anticipan reparaciones planificadas, evitando paradas de producción inesperadas. Por ejemplo, una variación inusual en la vibración de un cilindro enrollador puede anticipar el desgaste de sus rodamientos, permitiendo programar la intervención en horarios no productivos y reduciendo costos por pérdida de eficiencia.

Los tres tipos de mantenimiento: preventivo, correctivo y predictivo, deben coexistir en un plan integral de gestión de mantenimiento de enconadoras. El preventivo asegura la rutina

de conservación, el correctivo atiende los eventos inevitables de falla y el predictivo permite adelantarse a problemas críticos mediante el análisis de datos en tiempo real. Una adecuada planificación y ejecución de estas estrategias se traduce en conos de mayor calidad, procesos de producción más eficientes y una prolongación en la vida útil de la maquinaria textil.

5.2. Control y Aseguramiento de la Calidad en Máquinas Enconadoras

El aseguramiento de la calidad en el proceso de enconado textil constituye un factor determinante para tener un rendimiento y garantizar una eficiencia alta en el sistema productivo. La calidad del cono o paquete textil no depende exclusivamente de las propiedades intrínsecas del hilo alimentado, sino también del desempeño mecánico y electrónico de la máquina enconadora, así como de la correcta definición y estabilidad de los parámetros operativos. Un mal control en esta etapa puede generar defectos bastante importantes en el desenrollado, los cuales pueden provocar paradas en la producción y poner en peligro la uniformidad de los tejidos.

Una de las primeras cosas a controlar se refiere a la regularidad de la tensión de bobinado, que debe mantenerse en márgenes perfectamente definidos dependiendo del título de hilo y tipo de fibra. Tensión baja genera conos flojos, colapsados o deformados, mientras que tensiones altas generan hilos sobrecompactados, con muy poca elasticidad y resistencia, lo que afectará el rendimiento en el tejido. Según Koranne (2013), incluso variaciones mínimas de $\pm 5\,\%$ en la tensión de bobinado pueden duplicar la probabilidad de roturas durante la utilización de dicho cono.

La uniformidad del paquete es otro criterio de control esencial, un cono de calidad presenta una forma compacta y estable, sin sobresalientes, con ángulos de cruce constantes y con una reserva de hilo definida correctamente en la base del cono, la cual garantiza el inicio fluido en procesos posteriores (Sanjay & Gupta, 2021). Los paquetes que se encuentran mal formados dan lugar a problemas de desenrollado axial, aumentando, por lo tanto, las paradas de la maquinaria.

Un tercer aspecto hace referencia a la falta de nudos o cortes mal ejecutados, esto depende del buen funcionamiento de los purgadores y de los sistemas de empalmes (splicers). Las máquinas modernas, que son las híbridas IT, / MR y PU, cuentan con empalmes neumáticos o electrónicos cuya calibración ha de garantizar uniones perfectas y uniformes de hilo, evitando que la creación de volúmenes bloquee el paso del hilo por las guías o agujas. La norma internacional de calidad de hilatura establece que la resistencia de un empalme no ha de ser inferior al $95\,\%$ de la resistencia de la hebra original (Groover, 2015).

El control del parafinado, es también controlado y relevante, la cera depositada sobre la superficie del hilo debe ser uniforme, evitando excesos que realcen las agujas, que creen acopios de tejido o insuficiencias que incrementen la fricción y aceleren las rupturas del hilo, asimismo, la relación que hay entre el tipo de parafina con la naturaleza de la fibra (algodón, poliéster, viscosa, lana), es otro elemento que afecta a la calidad final del hilo.

El control de los sistemas de frenado y corte automático resulta crucial, concretamente, en las enconadoras automáticas con cambios continuos de conos; un mal ajuste en el freno daría lugar a un estiramiento excesivo del hilo o a un retroceso de este, y un mal corte provocaría fibras sueltas dañando el proceso de empalme. Es de control cotidiano la verificación de peso y volumen del cono, los que aseguran la homogeneidad en los paquetes y limitan las variaciones en la producción como consecuencia de cambios en la densidad o la compactación.

5.3. Prevención de Defectos

El correcto funcionamiento de la enconadora permite evitar defectos que ya los hemos descrito en anteriores párrafos. En la siguiente Tabla 5.1 se presentan de manera sucinta los más comunes, la causa y la medida preventiva que se deben realizar:

Tabla 5.1: Prevención de defectos

Prevención de defectos		
Defecto	**Causa probable**	**Medida preventiva**
Conos deformados	Tensión inestable, mal ajuste del ángulo de cruce	Verificación del sistema de guías y cruce
Hilo flojo o suelto	Baja tensión o fallo en el freno	Ajuste del sistema de frenado o sensor
Nudos no fusionados	Fallo en el *splicer* o corte manual inapropiado	Mantenimiento del *splicer* y corte automatizado
Exceso o falta de parafina	Mal ajuste del dosificador o desgaste del disco	Limpieza y calibración del sistema de parafinado
Paradas repetidas	Fallas en detección de hilo o sensores sucios	Revisión electrónica y limpieza de sensores
Mala reserva de hilo	Error en programación inicial del ciclo	Verificación de programación y calibración inicial

Nota. Elaboración propia

5.4. Buenas Prácticas Adicionales

- Registrar en bitácoras todos los ajustes de las máquinas y eventos operativos.
- Capacitar al operario en interpretación de alarmas y resolución de fallos menores.
- Establecer puntos de inspección de calidad durante el turno (inicio, mitad y fin).

Las máquinas enconadoras textiles son equipos críticos y costosos que marcan la calidad del hilo desde su preparación inicial, la implementación disciplinada de rutinas de mantenimiento, junto con un sistema robusto de aseguramiento de la calidad y prevención de defectos, permite no solo obtener conos perfectamente formados, sino también asegurar la eficiencia operativa de los procesos posteriores.

En un entorno de producción textil competitivo y tecnológicamente exigente, el dominio técnico de las enconadoras y sus condiciones de trabajo es un factor diferenciador clave tanto para el rendimiento productivo como para la calidad final del cono, como lo apreciamos en la Figura 5.1.

Figura 5.1: Diferentes bobinas y conos con material textil.



Nota. Imagen escaneada de *Catálogo Mini RAS, Bobinadora Automática* (Savio, s.f.).

5.5. Eficiencia Energética y Costos Operativos en Enconadoras Modernas

La eficiencia energética constituye actualmente uno de los factores más relevantes en la selección, operación y evaluación de las máquinas enconadoras textiles modernas. El incremento sostenido de los costos energéticos, junto con las exigencias ambientales y de sostenibilidad industrial, ha llevado a los fabricantes de maquinaria a desarrollar sistemas de bobinado cada vez más optimizados desde el punto de vista del consumo eléctrico por unidad de producción.

Las enconadoras automáticas contemporáneas incorporan motores de alta eficiencia (IE3 e IE4), variadores de frecuencia por uso y sistemas de control electrónico individualizado que permiten adaptar la velocidad y el par motor en función del título del hilo, la tensión requerida y el diámetro instantáneo del paquete. Esta gestión dinámica del consumo energético reduce significativamente las pérdidas por sobrepotencia y funcionamiento innecesario en vacío (Murata Machinery Ltd, 2019).

Diversos estudios industriales y catálogos técnicos reportan que el consumo energético específico de una enconadora automática moderna se sitúa, dependiendo de la configuración y del tipo de hilo procesado, entre $0{,}12$ y $0{,}25$ kWh por uso/hora, valores sensiblemente inferiores a los de generaciones anteriores de máquinas semiautomáticas o manuales (Koranne, 2013); (Macchine Tessili S.P.A., 2020). En términos económicos, esta reducción se traduce en una disminución directa del costo por kilogramo de hilo bobinado, especialmente relevante en plantas de alta producción con cientos o miles de husos operando de manera continua.

Desde el punto de vista del costo operativo total, la eficiencia energética debe analizarse conjuntamente con otros factores como la tasa de roturas, el rendimiento del *splicer*, el tiempo

efectivo de producción y la frecuencia de mantenimiento. Fabricantes como *Schlafhorst*, *Savio* y *Murata* integran sistemas de monitoreo que permiten correlacionar el consumo energético con indicadores clave de desempeño (KPI), tales como eficiencia global del equipo (OEE), producción por turno y porcentaje de desperdicio generado durante el proceso de enconado (Schlafhorst - Saurer Group, 2018).

La consideración de la eficiencia energética en la etapa de enconado no solo impacta en la rentabilidad económica de la empresa textil, sino que también contribuye de manera directa a la reducción de la huella de carbono del proceso productivo, alineando la operación con los principios de la industria textil sostenible y la manufactura avanzada.

5.6. Integración del Proceso de Enconado con Sistemas Manufacturing Execution Systems MES y Mantenimiento Predictivo.

La digitalización del proceso de enconado ha permitido que las enconadoras modernas se integren plenamente dentro de los sistemas de ejecución de manufactura (MES), transformando esta etapa tradicionalmente mecánica en una fuente estratégica de datos para la gestión productiva y el mantenimiento industrial.

Las enconadoras automáticas de última generación incorporan sensores distribuidos y sistemas de adquisición de datos capaces de registrar, en tiempo real, variables como la velocidad por huso, la tensión del hilo, el número de empalmes realizados, la eficiencia del splicer, la frecuencia de actuación del purgador electrónico, las roturas por tipo de defecto y el consumo energético individualizado. Estos datos son transmitidos a plataformas MES mediante protocolos industriales estandarizados, permitiendo una supervisión continua del rendimiento del proceso (Schlafhorst - Saurer Group, 2018).

La integración del enconado con sistemas MES facilita la trazabilidad completa del hilo, desde la salida de la hilatura hasta su entrega a los procesos posteriores de urdido, tejido o tintorería. Cada paquete de hilo puede asociarse a parámetros específicos de producción, lo que permite identificar desviaciones de calidad, analizar causas raíz de defectos recurrentes y optimizar los ajustes de la máquina en función del comportamiento real del material (Lawrence, 2014).

En el ámbito del mantenimiento, la disponibilidad de datos históricos y en tiempo real habilita la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo, superando los enfoques tradicionales de mantenimiento preventivo basado únicamente en horas de operación. El análisis de tendencias en variables como el aumento progresivo de roturas, la disminución de eficiencia del empalme o variaciones anómalas en el consumo energético permite anticipar fallas en componentes críticos como tensores, guías-hilo, cilindros de enrollado o sistemas neumáticos del splicer (Rengasamy, 2016).

De esta manera, el proceso de enconado deja de ser únicamente una etapa final de preparación del hilo y se convierte en un nodo central de información para la gestión integral de la planta textil. La correcta explotación de los datos generados por las enconadoras modernas contribuye a mejorar la calidad del producto final, reducir paradas no programadas, optimizar costos operativos y fortalecer la competitividad de la empresa en un entorno industrial cada vez más orientado a la automatización y la Industria 4.0.

Capítulo A

ANEXO A: GUÍA DE EMPRESAS TEXTILES

Introducción

El conocimiento de los fabricantes de maquinaria textil a nivel mundial constituye una herramienta estratégica para ingenieros, técnicos, docentes e inversionistas que buscan optimizar los procesos textiles. La industria textil, caracterizada por su dinamismo y constante innovación, se apoya en empresas líderes que, a lo largo de las últimas décadas, han marcado el rumbo tecnológico mediante el desarrollo de máquinas de alto rendimiento, sistemas automatizados, soluciones digitales y equipos especializados para cada etapa de la producción.

En este anexo se presenta un cuadro de referencia integral, en el cual se organiza de manera sistemática una selección de empresas fabricantes de maquinaria textil. Este cuadro contiene información clave como el nombre de la empresa, el tipo de maquinaria que produce, su país de procedencia, el logotipo representativo y la página web oficial, de tal forma que el lector pueda identificar de manera rápida y precisa las alternativas disponibles en el mercado global proporcionando una herramienta práctica y actualizada que facilite la búsqueda y selección de maquinaria según las necesidades productivas específicas. De esta manera, los profesionales textiles podrán orientar sus decisiones hacia las soluciones más adecuadas, considerando tanto la capacidad de producción y especialización de cada empresa, como su ubicación geográfica, soporte técnico y trayectoria dentro del sector.

Es importante subrayar que, en el mundo textil, no existe un único fabricante que cubra la totalidad de las necesidades industriales; por el contrario, las empresas han especializado sus líneas de producción en áreas determinadas, algunas en hilatura y preparación de fibras, otras en enconado y bobinado automático, otras en tejido plano, circular o de punto, y un grupo creciente en tecnologías digitales, automatización y soluciones sostenibles. Este capítulo es una referencia de las empresas textiles a nivel mundial y nos va a permitir tener un mejor conocimiento más claro de marcas, situación geográfica de las empresas, productos que fabrican y hasta direcciones electrónicas. En estas diferentes tablas desde la Tabla A.1 hasta la Tabla A.18, la hemos dividido geográficamente más no por producto de fabricación.

Tabla A.1: Fabricantes de maquinarias textiles en Alemania

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
ALBRECHT BAUMER	**Página web:** https://www.baumer.com/de **Producto:** Maquinaria para corte de espuma, para textiles técnicos y automoción.
AUTEFA SOLUTIONS	**Página web:** https://www.autefa.com/autefa-solutions-group **Producto:** Maquinaria para fabricación de no tejidos; además de equipos para empacado.
BRÜCKNER TROCKENTECHNIK	**Página web:** https://www.brueckner-textile.com/es/ **Producto:** Diseña, fabrica y suministra líneas completas de acabado textil para secado, termofijado, sanforizado, compactación y curado orientadas tanto a telas convencionales como a textiles técnicos y no tejidos.
DORNIER	**Página web:** https://www.lindauerdornier.com/es/home-es **Producto:** Fábrica máquinas de tejido como telares de lanzadera y telares con pinzas, también mecheras y continuas de anillos.
DÜRKOPP ADLER	**Página web:** https://www.duerkopp-adler.com/index/# **Producto:** Desarrollo, producción y venta de máquinas de coser y equipos de alta calidad.
GROSSE	**Página web:** http://www.grossejac.de/index.php/en/ **Producto:** Especializada en el desarrollo y producción de máquinas para la industria del tejido Jacquard. Ofrece piezas de recambio originales que ofrecen seguridad en la producción.
GROZ-BECKERT	**Página web:** https://www.groz-beckert.com/ **Producto:** Fabricante líder de agujas industriales para tejido, punto y costura.
KARL MAYER	**Página web:** https://www.karlmayer.com/en/ **Producto:** Maquinaria textil innovadora, dentro de sus productos existen máquinas de tejido rectilíneo, tejido de punto, preparación de urdimbre para tejeduría, textiles técnicos.
KERN-LIEBERS	**Página web:** https://www.kern-liebers.com/ **Producto:** Línea integral de componentes y repuestos de alta precisión para máquinas textiles, incluyendo agujas, elementos de formación de bucles para tejidos circulares y de urdimbre.
MAGEBA	**Página web:** https://www.mageba.com/ **Producto:** Tintorería y acabados técnicos para cintas, bordados y todo tipo de tejidos angostos.
MAHLO GMBH	**Página web:** https://www.mahlo.com/ **Producto:** Sistemas de control y medición para procesos continuos de acabado textil.
MAYER & CIE.	**Página web:** https://www.mayercie.com/ **Producto:** Máquinas de punto circular para jersey, rib, interlock, y tejidos técnicos.
MONFORTS	**Página web:** https://www.monforts.de **Producto:** Tecnología de secado, termofijado y recubrimiento de textiles.
OERLIKON BARMAG	**Página web:** https://www.oerlikon.com/ **Producto:** Líder en texturizado, extrusión y bobinado de filamentos sintéticos.

Continúa en la siguiente página

Tabla A.1: Fabricantes de maquinarias textiles en Alemania (continuación)

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
SPINDELFABRIK SUESSEN	**Página web:** https://www.suessen.com/ **Producto:** Fabricante líder mundial de sistemas de hilatura y componentes para máquinas de hilar, es una filial del Grupo Rieter.
STOLL (KARL MAYER)	**Página web:** https://www.stoll.com/ **Producto:** Máquinas de tejido plano y soluciones para prendas completas.
TERROT	**Página web:** https://www.terrot.de/en/ **Producto:** Maquinaria para la producción de jacquard, electrónico doble, canalé fino, interlock, mini jacquard, jersey simple y doble.
TEXPA	**Página web:** https://www.texpa.de **Producto:** Soluciones automáticas para la confección de textiles para el hogar.
THIES GMBH & CO KG	**Página web:** https://www.thiestextilmaschinen.de **Producto:** Máquinas de teñido para fibras, hilos y tejidos, con enfoque sostenible.
TRÜTZSCHLER	**Página web:** https://www.truetzschler.com/ **Producto:** Maquinaria para apertura de fibras, cardado, no tejidos y reciclaje textil.
ZSK STICKMASCHINEN	**Página web:** https://www.zsk.de/es/en/index.php **Producto:** Máquinas de bordar, modelos personalizados que van desde una sola cabeza hasta sistemas totalmente automatizados, y máquinas especializadas en bordado técnico.

Nota. Elaboración propia.

Tabla A.2: Fabricantes de maquinarias textiles en Bélgica

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
BONAS TEXTILE MACHINERY	**Página web:** https://bonas.be/ **Producto:** Especializada en el diseño y la fabricación de jacquard electrónicos para telares, equipada con maquinaria y robótica moderna.
PICANOL	**Página web:** http://www.picanol.be/en/ **Producto:** Desarrolla, produce y comercializa máquinas de alta tecnología de tejido, con base en el aire (chorro de aire) o la tecnología de pinzas; también ofrece repuestos y accesorios.
VANDEWIELE	**Página web:** https://www.vandewiele.com/ **Producto:** Equipos de tejeduría de alfombras, jacquard y etiquetas.

Nota. Elaboración propia.

Tabla A.3: Fabricantes de maquinarias textiles en Brasil

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
DELTA TEXTILE MACHINERY	**Página web:** https://deltamaquinastextis.com.br/es/empresa/ **Producto:** Se especializa en el desarrollo de maquinaria, automatización y consultoría para los procesos textiles. Maquinaria de tejido plano, estampado, tejido circular, correctores de tejidos, acabados.

Nota. Elaboración propia.

Tabla A.4: Fabricantes de maquinarias textiles en China

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
FONG'S INDUSTRIES	**Página web:** https://www.fongs.com **Producto:** Soluciones de tintura, acabado y maquinaria ecológica para textiles.
Longxing Knitting Machines	**Página web:** https://www.fanzhouldt.com/ **Producto:** Desarrolla, fabrica, vende y brinda el servicio de maquinaria de tejido rectilíneo de punto semiautomáticas o automáticas, centro de mecanizado y herramienta CNC de uso especial.
REI-TEX	**Página web:** https://sp.rel-tex.com/profile.html **Producto:** Máquinas circulares, mono fonturas y doble fonturas, jacquard, así como máquinas para la producción de medias, pantys y leggins.
Shandong Rifa Textile Machinery	**Página web:** http://rifa-textilemachine.es/ **Producto:** Fabricante de máquinas de hilar y tejer, como telares de pinzas, telares de chorro de aire, retorcedoras, bobinadoras y máquinas circulares.
SUNTECH TEXTILE MACHINERY	**Página web:** https://www.suntech-machine.com/ **Producto:** Maquinaria para inspección visual inteligente de tela, empaquetado automatizado de rollos, transporte y almacenamiento de carretes de urdimbre (*warp beams*), maquinaria para preparación de tejido, máquinas no tejidas y accesorios textiles.
SUZHOU TIANYUAN EQUIPMENT	**Página web:** http://www.tianyuanmachine.com/ **Producto:** Máquinas de tricotado, urdidoras y rebobinadoras.
XINGANG TEXTILE	**Página web:** http://www.xgtextile.com/ **Producto:** Fabricante tecnológico de alta gama especializado en el diseño y producción de máquinas de tricotado rectangular por urdimbre.
YUNDA	**Página web:** https://www.xmnyuanda.com/es/ **Producto:** Máquina de tejer circular desde camisas individuales hasta camisas dobles y máquinas Jacquard controladas por computadora.
ZHEJIANG JINGGONG	**Página web:** https://www.jinggongmachine.com/our-history/ **Producto:** Líder en maquinaria para hilatura y texturizado de poliéster.

Nota. Elaboración propia.

Tabla A.5: Fabricantes de maquinarias textiles en EE. UU.

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
HUNTERLAB	**Página web:** https://www.hunterlab.com/es/ **Producto:** Sus espectrofotómetros miden el color de la tela y devuelven valores numéricos que se correlacionan con lo que se ve. Dichas medidas objetivas optimizan su confianza en las decisiones sobre la calidad del color.
LAWSON-HEMPHILL	**Página web:** http://www.lawsonhemphill.com/ **Producto:** Equipos de prueba para control de calidad en fibras, hilos y tejidos.
NAVIS TUBETEX	**Página web:** https://www.navis-tubetex.com/ **Producto:** Acabado textil para tejidos tubulares y planos: compactado, secado, vaporizado.
SDL Atlas	**Página web:** https://www.sdlatlas.com/ **Produce:** Proveedor líder mundial de equipos de pruebas textiles, productos de laboratorio, consumibles y soluciones de servicio para las industrias de tejidos, prendas de vestir, hilados y fibras. Probador de tela al tacto FTT Fuerza de rotura Gestión de humedad líquida.
VANGUARD PAILUNG	**Página web:** https://www.vanguardpailung.com **Producto:** Máquinas de tejer circulares de gran diámetro, jersey simple, tejido de ancho abierto, fleece de tres hilos y tejido sin costuras, al igual que proporciona piezas OEM, servicio técnico experto y consulta de diseño de tejidos.

Nota. Elaboración propia.

Tabla A.6: Fabricantes de maquinarias textiles en España

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
CANMAR	**Página web:** https://canmartex.com/ **Producto:** Especializada en la fabricación de máquinas circulares de gran diámetro para género de punto y en la creación de soluciones tecnológicas avanzadas para el sector textil.
COMSAT	**Página web:** https://www.comsatspain.com/ **Producto:** Fabricante de maquinaria para la preparación de tejeduría, urdidores seccionales y filetas, junto con maquinaria auxiliar; mesas de inspección, enrolladores fuera de telar y mini-urdidores de bordes.
GALAN TEXTILE MACHINERY	**Página web:** https://galan.es/ **Producto:** Diseño y fabricación de maquinaria textil para el retorcido, bobinado e hilado de fibras naturales y sintéticas.
ICOMATEX	**Página web:** https://www.icomatex.com/ **Producto:** Acabado textil, termofijado, secado y lavado continuo.
RIUS	**Página web:** https://www.rius-comatex.com **Producto:** Máquinas de crochet, máquinas circulares, bobinadoras y enrolladoras. Fabrica maquinaria especializada para la industria textil técnica y otros sectores, como alimentación y salud.

Nota. Elaboración propia.

Tabla A.7: Fabricantes de maquinarias textiles en Francia

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
ALLIANCE MACHINES TEXTILES	**Página web:** https://event.businessfrance.fr/techtextil-2024/ **Producto:** Máquinas de teñido en alta tecnología para tejidos delicados y técnicos, incluyendo equipos para teñido en cuerda y en haz (*beam dyeing*) con bajo consumo de agua y energía, ideales para fibras naturales, sintéticas y textiles técnicos que requieren procesos precisos y cuidadosos.
NSC	**Página web:** https://www.nsc-schlumberger.com/ **Producto:** Diseña y fabrica maquinaria para el proceso de cardado, máquinas de peinar, máquinas de remetido y repuestos; ofrece el servicio de auditoría técnica.

Nota. Elaboración propia.

Tabla A.8: Fabricantes de maquinarias textiles en Grecia

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
SCLAVOS	**Página web:** https://www.sclavos.eu/portal/en/ **Producto:** Maquinaria de teñido (*jets*) de tejido de punto y telas de tejidos planos, sistemas de monitoreo de producción online, servicio técnico para *jets*.

Nota. Elaboración propia.

Tabla A.9: Fabricantes de maquinarias textiles en India

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
AMARNAATH ENGINEERING	**Página web:** https://www.amarnaathh.com/ **Producto:** Maquinaria de alta precisión para la industria textil médica y de hilado. Equipos completos como máquinas cardadoras para algodón quirúrgico, plantas de producción de rollos de algodón absorbente y máquinas para fabricar gasas, mascarillas, vendajes y toallitas no tejidas.
A.T.E	**Página web:** https://www.ategroup.com/ **Producto:** Máquinas abridoras de pacas, accesorios para teñido y acabados de hilos, ofrecen servicios de consultoría.
LAKSHMI MACHINE WORKS (LMW)	**Página web:** https://www.lmwglobal.com/ **Producto:** Maquinaria de hilatura, bobinado y retorcido para fibras cortas.
PERFECT EQUIPMENTS	**Página web:** https://www.perfectequipments.com/ **Producto:** Fabricante de máquinas para bobinado y retorcido de hilo de alta precisión.
PRASHANT GAMATEX	**Página web:** https://www.prashantgroup.com/ **Producto:** Maquinaria avanzada para urdido seccional, engomado de urdimbre, preparación de trama y sistemas automatizados de filetas.
PREMIER EVOLVICS	**Página web:** https://premierevolvics.com/ **Producto:** Sistemas de monitoreo de calidad para hilatura y fibra.
RAMSONS	**Página web:** https://www.ramsonsindia.com/ **Producto:** Fabricación de maquinaria industrial especializada en los sectores de confección textil, lavandería comercial y procesamiento de cuero.
RIMTEX INDUSTRIES	**Página web:** https://www.rimtex.com/ **Producto:** Accesorios para hilatura como tambores, latas y sistemas de transporte de mechas.

Nota. Elaboración propia.

Tabla A.10: Fabricantes de maquinarias textiles en Italia

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
Bonino Carding Machines	**Página web:** https://www.bonino1913.it/en/company **Producto:** Máquinas abridoras de balas, cardadoras y mezcladoras.
BRAZZOLI	**Página web:** https://www.brazzoli.it/ **Producto:** Fabricante de máquinas de tintura de telas de cuerda, máquinas de tintura de tejidos delicados y ligeros, tintura de muestras o lotes pequeños.
BUS Giovanni	**Página web:** https://www.busgiovanni.com/es/solicita **Producto:** Máquinas de calcetines monocilíndricas, equipadas con agujas en el plato para la elaboración de calcetines y pantis de primera calidad.
COGNETEX	**Página web:** https://www.cognetex.com/?lan=spa **Producto:** Máquinas de preparación e hilado hiladoras mono y bicomponentes; máquinas para el hilado de fibras de corte lanero y para el hilado de fibras sintéticas.
COMEZ INTERNATIONAL	**Página web:** https://www.comez.com/ **Producto:** Máquinas de tricotado y crochet para encajes, cintas y artículos técnicos.
CUBOTEX	**Página web:** https://cubotex.it/ **Producto:** Diseña y fabrica máquinas de tintura para hilos, teñido de fibras sueltas, teñido de rehumectado, teñido de prendas y máquinas de teñir de laboratorio.
FADIS	**Página web:** https://www.fadis.it/ **Producto:** Líder mundial en maquinaria de precisión para el procesado de hilos. Ofrece devanadoras, máquinas de texturizado por aire, entremezclado, devanado y bobinado, diseñadas para trabajar con algodón, lana, seda, fibras sintéticas, mezclas y fibras técnicas.
ITEMA	**Página web:** https://www.itemagroup.com/en/ **Producto:** Desarrolla, produce y comercializa maquinaria de alta tecnología de tejido, telares rapier, de proyectil, con base en el aire (chorro de aire) o la tecnología de pinzas. También ofrece repuestos y accesorios y es conocido por sus tres marcas que son Sultex, A9500, Vamatex, Silver 50 y Somet.
LGL ELECTRONICS	**Página web:** https://lglweights.com/company-es **Producto:** Desarrollo y producción de alimentadores electrónicos de hilo para máquinas de tejido y punto.
LONATI	**Página web:** https://www.lonati.com/es/lonati **Producto:** Máquinas circulares para la fabricación de calcetines para hombres, mujeres y niños, comercializa insumos, ofrece capacitación profesional y asesoramiento técnico.
LOPTEX	**Página web:** https://www.loptex.it/ **Producto:** Diseña, produce, comercializa maquinaria destinada a la separación de contaminantes en fibras naturales, artificiales y sintéticas y ofrece mantenimiento a los sistemas de reducción de la contaminación en la hilatura y en las industrias de no tejidos.
LORIS BELLINI	**Página web:** https://www.lorisbellini.com/sp/index.php/empresa/ **Producto:** Diseña, fabrica y comercializa máquina de tintura, armarios de tintura, máquinas de blanqueado y secado.
MARZOLI	**Página web:** https://marzoli.com/company/ **Producto:** Máquinas para la apertura, preparación e hilado de fibras naturales, sintéticas, recicladas, técnicas y componentes para procesamientos de fibras cortas.
MONTI ANTONIO	**Página web:** https://www.montiantonio.com **Producto:** Sistemas de termofijado y sublimación textil.
ORIZIO	**Página web:** https://www.orizio.com/index.php **Producto:** Especializada en la producción de máquinas circulares de gran diámetro, bancada simple, bancada doble, mecánicas y electrónicas.

Continúa en la siguiente página

Tabla A.10: Fabricantes de maquinarias textiles en Italia (continuación)

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
PANTER	**Página web:** http://www.puntti.it/?ed_391726.html **Producto:** Produce máquinas rectilíneas de tejido de plano para tejer (telas finas, delicadas y pesadas). Utiliza un sistema de pinzas, la que hace más eficiente el trabajo en esta máquina.
REGGIANI (EFI)	**Página web:** https://www.efi.com/ **Producto:** Impresoras textiles digitales, industriales, tecnologías de impresión y secado.
SANTONI	**Página web:** https://www.santoni.com/en/santoni/ **Producto:** Fabricante de máquinas de tejido de punto, líder en la innovación de máquinas de tejido circulares y sistemas de tejido de punto sin costuras.
SAVIO	**Página web:** https://saviospa.com/en/ **Producto:** Diseña, fabrica y distribuye máquinas bobinadoras, retorcedoras y máquinas de hilar, al igual que fabrica dispositivos de control de calidad.
SMIT	**Página web:** https://www.smittextile.com **Producto:** Fabricante de telares de pinza para tejidos técnicos y moda.
SMIT TEXTILE	**Página web:** http://www.glencove.it/ **Producto:** Diseño y construcción de máquinas de tejer a chorro de aire, manufactura y desarrollo de telares de pinza.
UGOLINI	**Página web:** https://www.ugolini.net/es/ **Producto:** Máquinas de teñir, máquinas de acabado, máquinas de laboratorio, centrífugadoras, secadoras y accesorios de acero inoxidable para teñir.

Nota. Elaboración propia

Tabla A.11: Fabricantes de maquinarias textiles en Japón

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
BARUDAN	**Página web:** https://www.barudan.co.jp **Producto:** Bordadoras computarizadas para textiles de moda de alta calidad.
BROTHER INDUSTRIES	**Página web:** https://industrialsewingmachine.global.brother/ **Producto:** Máquinas de coser industriales y bordadoras de alta precisión.
JUKI CORPORATION	**Página web:** https://www.juki.co.jp/ **Producto:** Máquinas de coser industriales para ropa, calzado y automoción.
KANSAI SPECIAL	**Página web:** https://www.kansai-special.com/ **Producto:** Fabricación de máquinas de coser y todo para la industria de la confección y máquinas especializadas.
MURATA MACHINERY	**Página web:** https://www.muratec.net/ **Producto:** Bobinadoras automáticas, *splicers* de aire y tecnología avanzada para hilatura.
PEGASUS SEWING MACHINE	**Página web:** https://www.pegasus.co.jp/ **Producto:** Toda la línea de máquinas de confección a nivel industrial.
SHIMA SEIKI	**Página web:** https://www.shimaseiki.com/ **Producto:** Fabricante de máquinas de tejer planas computarizadas especializadas en la producción de prendas de punto, sistemas CAD/CAM para diseño y producción textil.
TAJIMA GROUP	**Página web:** https://www.tajima.com **Producto:** Fabricación de máquinas de bordado industrial, ofreciendo soluciones avanzadas para bordado en sectores textiles y técnicos.

Continúa en la siguiente página

Tabla A.11: Fabricantes de maquinarias textiles en Japón (continuación)

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
TMT MACHINERY	**Página web:** https://www.tmt-mc.jp/ **Producto:** Maquinaria para procesamiento de filamentos sintéticos, sistema de hilado, rebobinado y dibujo texturizado.
TOYOTA INDUSTRIES	**Página web:** https://www.toyota-industries.com/ **Producto:** Ofrece máquinas de tejer con chorro de aire, las cuales usan el 20 % de aire menos, además con otras características tales como: una mayor velocidad, menos vibraciones de la máquina y un menor consumo de energía. Como también fabrica telares de chorro de agua, y equipos de automatización textil.
TSUDAKOMA CORP.	**Página web:** https://www.tsudakoma.co.jp **Producto:** Especialistas en telares de chorro de aire y urdidoras automáticas.
YAMATO	**Página web:** https://www.yamato-sewing.com **Producto:** Fabrican máquinas industriales de coser especializadas en overlock, interlock, flatseamer, y chain stitch para prendas de punto y deportivas, con innovaciones como Active Thread Control y micro-lubricación, que garantizan costuras elásticas, limpias y duraderas.

Nota. Elaboración propia

Tabla A.12: Fabricantes de maquinarias textiles en Mumbai

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
A.T.E. GROUP	**Página web:** https://www.ategroup.com/ **Producto:** Maquinaria avanzada para fabricación de hilado, tejido plano, tejido circular, procesamiento textil y no tejidos, además de accesorios y componentes para la industria textil.

Nota. Elaboración propia

Tabla A.13: Fabricantes de maquinarias textiles en Perú

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
Accuratex	**Página web:** https://www.accuratex.com/ **Producto:** Comercializa máquinas tejedoras rectilíneas de punto, al igual que accesorios y repuestos, brinda servicio de capacitación y mantenimiento.

Nota. Elaboración propia

Tabla A.14: Fabricantes de maquinarias en Reino Unido

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
ROACHES INTERNATIONAL	**Página web:** https://www.roaches.co.uk/ **Producto:** Equipos de laboratorio para ensayo de teñido y acabado textil.

Nota. Elaboración propia

Tabla A.15: Fabricantes de maquinarias textiles en Suecia

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
ELTEX OF SWEDEN	**Página web:** https://www.eltex.se **Producto:** Amplia gama de productos especializados en sensores electrónicos y sistemas de control para la industria textil, principalmente en detección de rotura de hilo y monitoreo de tensión.

Nota. Elaboración propia

Tabla A.16: Fabricantes de maquinarias textiles en Suiza

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
BENNINGER AG	**Página web:** https://www.benningergroup.com **Producto:** Sistemas de preparación para el teñido, mercerizado y acabado de tejidos.
BRÄCKER AG	**Página web:** https://www.bracker.ch/ **Producto:** Fabricación de componentes clave para sistemas de hilatura en anillo, como anillos y viajero.
JAKOB MÜLLER AG	**Página web:** https://www.mueller-frick.com/ **Producto:** Maquinaria para cintas estrechas, etiquetas y tejido de cintas técnicas.
LOEPFE BROTHERS LTD.	**Página web:** https://www.loepfe.com/ **Producto:** Desarrollo de soluciones electrónicas para el control de calidad en tiempo real en la industria textil, con un sistema de monitoreo óptico para los hilos.
LUWA AIR ENGINEERING	**Página web:** https://www.luwa.com/en **Producto:** Control del ambiente industrial, principalmente en la industria textil y otros sectores.
RIETER	**Página web:** https://www.rieter.com/ **Producto:** desarrolla y fabrica maquinaria, sistemas y componentes que se emplean para transformar fibras tanto naturales como sintéticas, como máquinas de apertura y limpieza, cardado, máquinas de hilar por chorro de aire, bobinadoras.
SANTEX RIMAR GROUP	**Página web:** https://www.santexrimar.com **Producto:** Fabricación de maquinaria para la industria textil en el área de tejeduría, acabado, textiles técnicos y tecnología verde.
SAURER GROUP	**Página web:** https://www.saurer.com/ **Producto:** Tecnología para hilatura, retorcido y bordado industrial.
STEIGER	**Página web:** https://steiger-textil.ch/ **Producto:** Desarrolla y produce máquinas de tejer planas industriales para tejido de punto.
STÄUBLI	**Página web:** https://www.staubli.com/ **Producto:** Se especializa en la fabricación de máquinas de tejido plano de alta velocidad. Su maquinaria y accesorios tienen un sistema automatizado de preparación de tejeduría, tejidos técnicos, solución en diseño y estructura en tejidos de marcose y Jacquard, al igual que ofrece piezas y repuestos.
USTER TECHNOLOGIES	**Página web:** https://www.uster.com/ **Produce:** Proporciona datos comparativos de calidad vital sobre fibras, astillas, mechas e hilados producidos en todo el mundo, al igual pruebas textiles para fibras e hilados de algodón de todas las materias primas y tipos.

Nota. Elaboración propia

Tabla A.17: Fabricantes de maquinarias textiles en Taiwán

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
CCI TECH INC. CCI TECH INC.	**Página web:** `http://www.cci-tek.com/indexs.php` **Producto:** Fabrican telares de muestreo.
KYANG YHE KY KYANG YHE	**Página web:** `https://www.kyangyhe.com/es/index/index.html` **Producto:** Fabricante de máquinas de telares de aguja de alta velocidad, máquinas Jacquard para tejidos estrechos, telares de aguja para tejidos estrechos pesados, máquinas de trenzado de alta velocidad.

Nota. Elaboración propia

Tabla A.18: Fabricantes de maquinarias textiles en Turquía

Nombres de la empresa	Detalles de la empresa
BENEKS BENEKS	**Página web:** `https://www.beneks.com/` **Producto:** Máquinas de tintura de tela, máquinas de presecado y secadoras frontales.
Dilmener Makine Sanayi DİLMENLER	**Página web:** `https://www.dilmener.com.tr/` **Producto:** Fabricante de máquinas de teñido y acabado de tejidos, ofrece el servicio de consultoría y soluciones especializadas.

Nota. Elaboración propia

Bibliografía

Behera, B. K., & Shanmugasundaram, O. (2021). *Automation in textile machinery: Instrumentation and modern industrial practices*. Woodhead Publishing.

Booth, J. (1996). *Principles of textile testing: An introduction to physical methods of testing textile fibres, yarns and fabrics*. Butterworth-Heinemann.

Budynas, R., & Nisbett, K. (2015). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (10th ed.). McGraw-Hill.

Callister, W., & Rethwisch, D. (2018). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). Wiley.

Esparza, D., Esparza, W., & Rosero, E. (2017). *Procesos de Hilatura Lanera*. Editorial Académica Española.

Fang, J., Chen, X., & Zhang, Z. (2021). *Journal of the Textile Institute*, 1314–1324.

Fuerte Villano, L. F., & Ramos Chilingano, L. E. (2018, septiembre 27). *Sistemas formadores de tejidos I - Enconadora*. StuDocu. https://www.studocu.com/pe/document/universidad-privada-san-juan-bautista/tecnologia-de-materiales/informe-de-la-enconadora-pdf/29700729

Groover, M. P. (2015). *Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing*. Pearson.

Grover, E. B., & Hamby, D. (2011). *Handbook Of Textile Testing And Quality Control*. Wiley India.

Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2014). *Manufacturing. Engineering and Technology* (7th ed.). Pearson.

Koranne, M. (2013). *Fundamentals of yarn winding*. Woodhead Publishing India.

Lawrence, C. A. (2010). *Fundamentals of spun yarn technology*. CRC Press.

Lockuán, F. (2012). *IV. La industria textil y su control de calidad. Tejeduría*.

Lockuán Lavado, F. E. (2012). *La Industria Textil y su control de calidad. III Hilandería*.

Mazurek, D., Johnston, E., Beer, F., & DeWolf, J. (2013). *Mecánica de materiales* (6 ed.). McGraw-Hill.

Motocono. (s.f.). *HBI Grupo de retracción*.

Murata Machinery. (2021). *Muratec México*. Obtenido de *Enconadoras de hilo*: https://muratec-mex.com/textiles/auto-winders/.

Murata Machinery, Ltd. (2022). *Catálogo de máquinas textiles* [Catálogo].

Muratec. (s.f.). *No. 7-V Mach Coner Bobbin-Tray Type* [Catálogo técnico]. Murata Machinery.

Murthy, J. (2014). *Maintenance engineering and management*. PHI Learning Private Limited.

Pinter Payas. (s.f.). *Pinter Payas*.

Rengasamy, R. (2021). *Raw materials, processes and testing*. CRC Press.

Savio. (s.f.). *Catálogo Mini RAS Bobinadora Automática* [Catálogo técnico].

S. W. Systems. (s.f.). *Autonocer 338 RM/K/E: El proceso de bobinado controlado por sensor*.

Saville, B. (1999). *Physical testing of textiles*. Woodhead Publishing Ltd.

Sanjay, G., & Gupta, D. (2021). *Textile Machinery Maintenance: Principles and Practice*. Woodhead Publishing.

Shahid, A., & Militky, J. (2020). *Textile engineering: Advanced processing technologies*. CRC Press.

Thread-Winder. (s.f.). *High-speed yarn cone-to-cone rewinding machine*. Recuperado de http://thread-winder.com.ar/11-high-speed-yarn-cone-to-cone-rewinding-machine.html.

USTER. (2022). *USTER CLASSIMAT 5*. Obtenido de https://www.uster.com/products/staple-yarn-testing/uster-classimat/.



ISBN: 978-9942-572-58-5