



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

ACTUALIZACIÓN DE WARPER 4 EN MODULO 11 DE PROCESO BEAMING

TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

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

**PRESENTA:
MARISOL ROJAS ZEMPOALTECA**

**NOMBRE DEL ASESOR:
BENJAMÍN DARÍO RAMÍREZ ANGULO**



APIZACO, TLAX., NOVIEMBRE 2025

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a BTS (RM, Jin, SUGA, j-hope, Jimin, V y Jungkook), quienes han sido mucho más que un grupo musical para mí. Su arte, sus letras llenas de significado y su autenticidad han sido una fuente constante de inspiración a lo largo de mi vida. En los momentos más difíciles, cuando las palabras escaseaban y la motivación parecía lejana, su música me dio fuerza, consuelo y esperanza. Gracias por recordarme, a través de cada canción, que siempre vale la pena seguir adelante, ser fiel a uno mismo y luchar por los sueños, por más inalcanzables que parezcan.

A mi madre y a mi hermana, no hay palabras suficientes para agradecerles todo lo que han hecho por mí. Gracias por estar siempre a mi lado, brindándome un amor incondicional, comprensión sincera y un apoyo constante que han sido fundamentales en cada etapa de este camino. Su fe en mí ha sido el motor que me ha impulsado a no rendirme, incluso cuando las cosas se ponían difíciles. Gracias por ser mi hogar, mi refugio y mi fuerza.

También quiero expresar mi más sincero agradecimiento al equipo de Desarrollo por recibirme con los brazos abiertos desde el primer día que llegué a planta. Su disposición para compartir conocimientos, su orientación paciente y su calidez humana hicieron que mi proceso de adaptación fuera mucho más fácil y enriquecedor. Y quiero agradecer especialmente al equipo de Ingeniería de Procesos, por su colaboración constante, por su paciencia ante mis dudas, por compartir sus conocimientos conmigo y por el compañerismo que mostraron cada día. Trabajar a su lado ha sido una experiencia invaluable que guardaré siempre con gratitud y aprecio, oportunidad de aprender y crecer en un entorno tan profesional y humano.

Y agradezco sinceramente al maestro Benjamín Darío Ramírez Angulo asesor de este proyecto, por su valiosa orientación y apoyo durante el desarrollo de este proyecto. Su experiencia y dedicación fueron fundamentales para mi crecimiento académico y profesional.

Finalmente extendiendo mi agradecimiento al Instituto Tecnológico de Apizaco que me brindó las herramientas, el conocimiento y las oportunidades necesarias para crecer académicamente.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1. DESCRIPCION DEL PROYECTO.....	2
1.1 Introducción Del Capitulo	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivos Generales	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 Justificación del proyecto	4
1.4 Alcances y limitaciones	5
1.4.1 Alcances.....	5
1.4.1 Limitaciones	5
1.5 Cronograma y descripción de las actividades.....	7
1.5.1 Cronograma	7
1.5.2 Descripción de las actividades	8
1.6 Descripción de la empresa u organización	10
1.6.1 SAINT GOBAIN.....	10
1.6.2 VETROTEX.....	10
1.7 Caracterización del área en la que participo	11
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 Antecedentes	12
2.2 Conceptos.....	14
2.2.1 Hilo de fibra de vidrio	14
2.2.2 Bobina	14
2.2.2.1 Proceso de formación de la bobina	14
2.2.2.2 Relevancia de las bobinas en el proceso de beaming.....	15
2.2.3 Beaming	15
2.2.3.1 Creel.....	17
2.2.3.1.1 Frenos.....	17
2.2.3.1.2 Porta carrete	18
2.2.3.1.3 Retenedores de hilos	18
2.2.3.2 Tablero expandible	18
2.2.3.3 Warper	19

2.2.3.3.1 Rodillos	20
2.2.3.3.2 V Reed.....	20
2.2.3.3.3 Beam	20
2.2.3.3.3.1 Proceso de formación de un beam.....	21
2.2.4 Brida.....	21
2.2.5 Celda de carga	22
2.2.5.1 Celda lsb302.....	22
2.2.5.2 Ecuación capstan.....	23
2.2.6 Parámetros.....	24
CAPITULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO	26
3.1 Introducción al capítulo	26
3.2 Análisis de las áreas de oportunidad, estado inicial o punto de partida del proyecto..	27
3.3 Desarrollo del proyecto paso a paso	28
3.3.1 Validación de torques W4.....	28
3.3.1.1 Valores obtenidos de la prueba.....	28
3.3.1.1.1 Ecuación para la validación de torques	30
3.3.2 Integración de Celda de Carga Tipo S-Beam FUTEK en el Proceso de Beaming	32
CAPITULO 4. ANALISIS DE RESULTADOS	40
4.1 Análisis resultados	40
4.2 Conclusiones	41
4.3 Recomendaciones	42
BIBLIOGRAFIA.....	43
ANEXO A. PARTES DEL PROCESO BEAMING	44
ANEXO B. HOJA DE DATOS DEL SENSOR DE CARGA MODELO LSB302	50

ÍNDICE TABLAS Y FIGURAS

CAPITULO 1. DESCRIPCION DEL PROYECTO

Figura 1.5 Cronograma	7
-----------------------------	---

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

Tabla 2.1 Propiedades de la fibra de vidrio	14
Figura 2.1 Mapeo del proceso de beaming	16
Figura 2.2 Warper parte delantera dibujo.....	19
Tabla 2.2 Tipos de urdidor Warper)	19
Figura 2.3 Brida utilizada en el proceso Beaming	22
Tabla 2.3 Parámetros de la prueba de velocidad	24

CAPITULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

Tabla 3.1 Torques (operador)	29
Tabla 3.2 Torques (ecuación)	30
Tabla 3.3 Variables con su valor	37

RESUMEN

Este proyecto tiene como finalidad realizar la actualización del Warper 4, módulo 11, equipo utilizado en el proceso de beaming, una etapa esencial en la preparación de beams dentro de la industria textil.

En este caso, se trabaja específicamente con hilos de fibra de vidrio, un material de alta resistencia que requiere un manejo cuidadoso durante su procesamiento, debido a su fragilidad al ser traccionado o manipulado bruscamente. Los hilos utilizados provienen de bobinas producidas en planta (Vetrotex), las cuales se colocan de forma ordenada para alimentar el warper. En esta fase, cientos o miles de hilos se enrollan de manera paralela sobre un cilindro de gran tamaño (brida), formando un beam. Aunque este proceso puede parecer simple a primera vista, en la práctica demanda un alto grado de precisión técnica, especialmente en el control del torque y la velocidad aplicados durante el enrollado, lo cual representa uno de los principales retos en su ejecución.

Beaming es un proceso que requiere estabilidad y uniformidad en la tensión de los hilos, la cual depende directamente del torque que genera el motor del warper. Este torque es el encargado de proporcionar la tensión necesaria para mantener los hilos firmes y correctamente alineados a medida que se forma el beam. Si el torque es demasiado alto, los hilos pueden estirarse, fracturarse o dañarse; si es demasiado bajo, el beam puede quedar suelto y mal formado, comprometiendo la calidad del producto.

Para abordar esta problemática, se realizó un análisis del sistema actual, el cual incluyó la revisión del sistema de medición de torque, los frenos, los variadores de frecuencia, la velocidad y otros componentes relevantes. A partir de este estudio, se propusieron ajustes orientados a mejorar la regulación del torque, con el objetivo de mantener una tensión constante en los hilos, sin importar el punto del proceso en el que se encuentre.

Cabe mencionar que, aunque la velocidad también influye en el resultado final, en este proyecto se considera un parámetro secundario, dado que debe ajustarse con base en el torque y las características del hilo o producto.

El proceso completo no solo exige precisión técnica, sino también experiencia operativa. Por lo tanto, una actualización adecuada del sistema permite reducir defectos de alineación, evitar roturas, minimizar desperdicios y asegurar la formación de beams uniformes y de alta calidad.

INTRODUCCIÓN

La industria textil técnica enfrenta retos crecientes en cuanto a precisión, control de calidad y eficiencia operativa, especialmente cuando se trabaja con materiales exigentes como es la fibra de vidrio. En relación con eso, el proceso de beaming fundamental para la creación de beams cobra una importancia fundamental.

La correcta aplicación de tensión y torque durante el enrollado de los hilos sobre el beam determina no solo la integridad del producto final, sino también la estabilidad del proceso productivo.

El presente proyecto surge a raíz de la actualización del warper 4, donde las condiciones actuales de operación han mostrado áreas de oportunidad en cuanto al control del torque aplicado. En particular, se ha observado que, al aumentar la velocidad de operación, la máquina presenta comportamientos inestables que pueden derivar en paros, desalineaciones o fallas mecánicas.

Para abordar esta problemática, se propone una estrategia basada en la medición y análisis de datos reales, utilizando una celda de carga tipo S como herramienta principal para capturar las fuerzas generadas durante el proceso. También hay que mencionar que, a través del desarrollo de cálculos técnicos, registros y tablas, se buscará establecer parámetros óptimos que permitan validar y, si es necesario, ajustar el torque aplicado en distintas condiciones de producción.

Este enfoque no solo permitirá mejorar el rendimiento del equipo y reducir los desperdicios asociados a fallas en el producto, sino que también aportará una base técnica sólida para futuras decisiones de mantenimiento, calibración y optimización en equipos similares.

Con ello, se contribuye a una operación más confiable, sustentable y alineada con los estándares de calidad del sector.

CAPITULO 1. DESCRIPCION DEL PROYECTO

1.1 Introducción Del Capitulo

El capítulo uno tiene como propósito establecer las bases del proyecto a través de la presentación de sus objetivos, justificación, alcances, limitaciones y cronograma de actividades, además de incluir información de la empresa y la caracterización del área en la que se participó. Esta sección es clave para comprender la dirección que tomará el proyecto y por qué su desarrollo resulta relevante dentro del contexto industrial actual. El proyecto surge de la necesidad de mejorar el control del proceso de beaming en el Warper 4, donde se han identificado problemas relacionados con la tensión del hilo y pérdidas frecuentes durante la operación. A partir de este diagnóstico, se plantearon objetivos que guían cada etapa del desarrollo, enfocados principalmente en la validación del torque y en la propuesta de integración de una celda de carga tipo S, lo cual permitirá obtener datos más precisos sobre la tensión del hilo y mejorar el desempeño del sistema.

Asimismo, se argumenta la importancia de esta propuesta como una contribución práctica para optimizar un proceso industrial altamente sensible, donde la precisión y el control son determinantes para garantizar la calidad. Sin embargo, también se establecen los límites del proyecto, reconociendo que su alcance se ajusta a lo técnico y operativamente viable, sin abarcar una automatización total del sistema ni la sustitución completa de sus componentes. Por último, se presenta un cronograma que organiza las actividades a realizar durante el desarrollo del proyecto, permitiendo visualizar su estructura temporal y facilitando su cumplimiento de manera ordenada. En conjunto, este capítulo proporciona una visión general clara y realista del proyecto, sentando las bases para su posterior desarrollo técnico.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Generales

Implementar un sistema de monitoreo y análisis en el warper 4 que nos permita optimizar el torque aplicado durante el proceso, tomando en cuenta que en el proceso se utiliza hilo de fibra de vidrio, mediante la integración de una celda de carga tipo S de la mano de la ecuación de capstan y cálculos para la validación de torques predeterminados, reducir defectos en el producto final y cumplir con los estándares de calidad de la empresa.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar una inspección técnica del área de beaming, específicamente del Warper 4, para conocer el estado operativo del proceso y sus componentes principales.
- Obtener datos reales de operación a través de una prueba de velocidad controlada, para utilizarlos como base en la validación de los torques actuales.
- Seleccionar e integrar una celda de carga tipo S en el punto óptimo del proceso, realizando su instalación, calibración y validación funcional.
- Capacitar al personal operativo en el uso adecuado de la celda de carga y en la interpretación de sus parámetros.
- Evaluar la efectividad del sistema implementado en términos de precisión de torque y su impacto en la estabilidad del proceso de formación del beam.

1.3 Justificación del proyecto

El presente proyecto surge de la necesidad de mejorar la eficiencia operativa y la calidad del proceso de beaming, una etapa crítica en la producción de hilo de fibra de vidrio.

Este proceso influye directamente en la integridad del beam, la continuidad de la producción y los costos asociados. Actualmente, el warper 4 del módulo 11 presenta deficiencias en el control del torque, lo que ha derivado en una serie de problemáticas que afectan tanto el rendimiento del equipo como a toda la cadena productiva.

- Desigualdad en la tensión de los hilos, provocando defectos estructurales y visuales en el tejido final.
- Roturas frecuentes, que generan interrupciones constantes, aumento de desperdicios y pérdida de tiempo operativo.
- Deficiencias en el enrollado, que dificultan el manejo eficiente del hilo en etapas posteriores del proceso.
- Falta de estandarización en los ajustes de torque, lo que impide establecer parámetros técnicos reproducibles.

Frente a este panorama, la actualización del sistema de torque no solo permitirá adaptar el equipo a las condiciones reales de producción, sino que también facilitará la implementación de un control más preciso y automatizado. Esto asegurará resultados consistentes, reducirá el margen de error humano y permitirá una trazabilidad técnica más confiable.

1.4 Alcances y limitaciones

1.4.1 Alcances

El presente proyecto tuvo como principal alcance la evaluación, intervención y mejora parcial del proceso de beaming en el equipo Warper 4, el cual presentaba fallas recurrentes que afectaban directamente la estabilidad y calidad del proceso productivo. Como parte de las actividades realizadas, se llevó a cabo una inspección técnica detallada del área de trabajo, así como un análisis de los tipos de hilo utilizados, siendo la fibra de vidrio un material altamente sensible a variaciones de tensión, velocidad o fricción. A través de la ejecución de una prueba de velocidad se obtuvieron parámetros reales del comportamiento del equipo, los cuales sirvieron como base para validar los valores de torque que hasta el momento eran solo estimaciones representadas en porcentaje por el sistema de control existente.

Uno de los principales logros será la integración de una celda de carga tipo S, seleccionada con base en criterios técnicos y de compatibilidad con el sistema actual. Esta celda permitirá la medición directa de la tensión del hilo, brindando una base más precisa para estimar el torque real aplicado durante el proceso de enrollado. Adicionalmente, se capacitará al personal técnico y operativo en el uso adecuado de este nuevo dispositivo, incluyendo su lectura, cuidado y mantenimiento, con el fin de garantizar la continuidad del monitoreo una vez concluido el periodo de residencia. A partir de los resultados obtenidos, se establecerán recomendaciones concretas para mejorar el sistema de torque del Warper 4 y reducir las fallas recurrentes que provocaban pérdidas de hilo, rompimientos, paros de producción y formación defectuosa del beam.

1.4.1 Limitaciones

Sin embargo, el desarrollo del proyecto también presentara diversas limitaciones. Una de las principales fue el tiempo asignado al periodo de residencia, lo cual limitó la posibilidad de realizar pruebas más extensas o comparativas entre distintos tipos de hilo, condiciones de velocidad y configuraciones operativas. Asimismo, la alta sensibilidad del material trabajado (fibra de vidrio) impulsara ciertas restricciones, ya que por sus características físicas no se podían ejecutar pruebas que implicaran condiciones extremas sin riesgo de dañar el material o generar pérdidas. También se identificó como limitante el sistema de control actual del Warper, el cual solo proporciona una estimación porcentual del torque, dificultando la comparación directa sin la celda de carga.

Adicionalmente, debe considerarse que el Warper utilizado es un equipo con varios años de operación, lo que en ocasiones limitó la disponibilidad para la ejecución de pruebas, ya que requería paros prolongados de mantenimiento correctivo o preventivo. Cabe señalar que estas interrupciones estaban asociadas principalmente a aspectos mecánicos del equipo y no guardaban relación directa con los objetivos del proyecto.

Otra restricción importante fue la gran variedad de productos que se procesan en la planta, los cuales difieren en micraje, tratamientos superficiales como sizing, peso, temperatura de operación, entre otros factores.

1.5 Cronograma y descripción de las actividades

1.5.1 Cronograma

En la siguiente figura se visualizará el cronograma de actividades que se utilizó durante este proyecto y su descripción de cada una.

ACTIVIDAD		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Asignación Formal del Proyecto por parte del asesor de la empresa	P															
	R															
Inspección y Reconocimiento Inicial del Proceso en el Área de Beaming (Warper 4)	P															
	R															
Investigación Documental de los Antecedentes del Proceso y la Empresa	P															
	R															
Evaluación de Tipos de Hilo Utilizados, Condiciones Mecánicas del Equipo y Factores de Fricción	P															
	R															
Ejecución de una Prueba de Velocidad en el Equipo Warper para Recolección de Datos Operativos	P															
	R															
Validación de Parámetros de Torque Utilizando los Resultados de la Prueba de Velocidad	P															
	R															
Investigación, Selección e Integración de una Celda de Carga Tipo S en el Proceso	P															
	R															
Capacitación Técnica al Personal sobre el Uso, Lectura y Mantenimiento de la Celda de Carga	P															
	R															
Cálculos por la ecuación capstan	P															
	R															
Evaluación Técnica y Operativa del Sistema de Medición Implementado	P															
	R															
Presentación Oficial del Proyecto, Resultados Obtenidos y Recomendaciones Finales	P															
	R															

Figura 1.5 Cronograma 1 (elaboración propia, 2025)

1.5.2 Descripción de las actividades

- Asignación Formal del Proyecto por Parte del Departamento Responsable.
- Al inicio del periodo, se me asignó oficialmente el desarrollo del proyecto técnico dentro del área de producción, definiendo los objetivos generales y específicos a alcanzar.
- Inspección y Reconocimiento Inicial del Proceso en el Área de Beaming (Warper 4).
- Se realizó una visita detallada al área de beaming, en particular al Warper 4, con el fin de conocer el entorno físico, identificar los componentes principales del proceso y detectar posibles puntos de mejora.
- Investigación Documental de los Antecedentes del Proceso y la Empresa.
- Se desarrolló una revisión teórica y técnica sobre el funcionamiento histórico del proceso de beaming, así como una contextualización general sobre la empresa, sus operaciones, productos y estándares.
- Evaluación de Tipos de Hilo Utilizados, Condiciones Mecánicas del Equipo y Factores de Fricción.
- Se llevó a cabo un análisis de los diferentes tipos de hilo de fibra de vidrio empleados, considerando parámetros como el tex, micraje, tipo de brida, y también se evaluaron condiciones como desgaste mecánico y fricción en el sistema.
- Ejecución de una Prueba de Velocidad en el Equipo Warper para Recolección de Datos Operativos.
- Se ejecutó una prueba de velocidad controlada en el Warper 4, con el objetivo de obtener datos reales del comportamiento del sistema en condiciones normales de trabajo.
- Validación de Parámetros de Torque Utilizando los Resultados de la Prueba de Velocidad.
- Los valores medidos durante la prueba de velocidad se utilizaron para validar los torques estimados previamente, comparándolos con los valores porcentuales preestablecidos por el sistema.
- Investigación, Selección e Integración de una Celda de Carga Tipo S en el Proceso.
- Se inició la búsqueda de sensores adecuados, incluyendo contacto y cotización con proveedores. Se eligió la celda de carga tipo S más conveniente. Después se definió su ubicación óptima en el proceso, se instaló, calibró y se realizaron pruebas para garantizar su correcto funcionamiento.
- Capacitación Técnica al Personal sobre el Uso, Lectura y Mantenimiento de la Celda de Carga.

- Se impartió una capacitación al personal técnico y operativo, cubriendo aspectos clave sobre la lectura de parámetros, interpretación de datos, mantenimiento básico y cuidados especiales de la celda de carga.
- Evaluación Técnica y Operativa del Sistema de Medición Implementado.
- Se evaluó la eficiencia, precisión y fiabilidad del nuevo sistema implementado, considerando tanto sus beneficios técnicos como su impacto en el proceso de producción.
- Presentación Oficial del Proyecto, Resultados Obtenidos y Recomendaciones Finales.
- Finalmente, se elaboró un informe técnico y se expuso el proyecto ante los responsables del área, presentando los resultados alcanzados, mejoras observadas, conclusiones y sugerencias para futuras implementaciones.

1.6 Descripción de la empresa u organización

1.6.1 SAINT GOBAIN

Saint Gobain es una empresa multinacional francesa fundada en 1665, con presencia en 80 países y más de 161,000 empleados.

Desde la creación de la Manufactura de Cristales para Espejos en 1665, Saint-Gobain siempre se ha distinguido por su capacidad de inventar productos que mejoran la calidad de vida. (Saint-Gobain México, s.f.)

Ha evolucionado para convertirse en líder en la producción y distribución de materiales y soluciones para la construcción, el transporte, la infraestructura y diversas aplicaciones industriales.

Su enfoque se centra en el confort, el desempeño y la sostenibilidad, abordando desafíos como la eficiencia energética y el cambio climático.

1.6.2 VETROTEX

Vetrotex es una división de Saint Gobain especializada en la fabricación de hilos de fibra de vidrio para textiles técnicos. Con más de 80 años de experiencia, ofrece productos innovadores para sectores. (Saint-Gobain México, s.f.)

Esta trayectoria le ha permitido posicionarse como líder en el mercado de la construcción, ofreciendo una amplia gama de productos que incluyen hilos simples de vidrio tipo E y C, hilos texturizados, ZeroTwist e hilos voluminizados, además de hilos textiles cortados.

Con presencia mundial en países como Australia, Alemania, Japón, Estados Unidos y México, Vetrotex se compromete a cumplir con los más altos estándares de calidad, sustentabilidad, eficiencia energética y protección del medio ambiente. (Saint-Gobain Vetrotex, s. f.)

En 1999 se estableció la planta de Vetrotex en México, ubicada en el Parque Industrial Xicohténcatl, en Tetla de la Solidaridad, Tlaxcala. Las plantas cuentan con certificación ISO 9000, ISO 14000, es una Empresa Socialmente Responsable y tiene un premio de Ahorro de Agua, entre otros.

Misión

Nuestro objetivo es servir a nuestros clientes en cualquier parte del mundo mientras nos enfocamos en el servicio y atención local. (Saint-Gobain Vetrotex, s. f.)

1.7 Caracterización del área en la que participo

Durante mi estancia como practicante, estuve asignada al área de desarrollo específicamente en el área de ingeniería de proceso. Dentro de esta área participe en diversas actividades que me permitieron tener una visión integral del funcionamiento de la planta y los procesos.

Algunas de las actividades que realice fue el aprender el manejo y funcionamiento de los equipos de medición utilizados en la empresa, como pirómetros, tacómetros, estroboscopio, entre otros.

Además, me integre a recorridos y análisis de procesos productivos en distintas áreas de la planta. Esta experiencia me ayudo a entender la importancia de la eficiencia, seguridad, y precisión dentro de la ingeniería de procesos.

Asimismo, me fueron asignadas tareas específicas, incluyendo la observación de ciclos de producción, recopilación y captura de datos, así como el apoyo en la realización de algunas pruebas, lo que me permitió involucrarme de manera más directa en la validación de resultados y en la dinámica del área.

En general esta experiencia como practicante en el área de desarrollo e ingeniería de procesos me permitió adquirir habilidades técnicas y profesionales orientadas a la mejora continua.

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

El origen del uso del vidrio en forma de hilo se remonta a la antigüedad, donde ya se documentaba la fabricación de vidrio hilado, aunque sin fines industriales modernos. No fue sino hasta el siglo XVIII, durante la Revolución Industrial, cuando surgieron avances significativos que sentaron las bases del urdido moderno. La invención del telar y del urdidor mecánico permitió mecanizar el proceso de tejido, aunque en aquel tiempo se trabajaba exclusivamente con fibras naturales como el algodón, lino, lana o seda. El proceso de beaming, tal como se entendía en esa época, consistía en enrollar haces de hilos sobre tambores, para alimentar los telares de forma ordenada y continua. (Saint-Gobain. s. f.).

Paralelamente, en 1665, se fundó en Francia una manufactura dedicada a la producción de cristales para espejos, marcando el nacimiento de Saint-Gobain, una empresa que posteriormente jugaría un papel clave en la industria del vidrio (Saint-Gobain S.A). Sin embargo, no fue hasta principios del siglo XX que surgió la fibra de vidrio moderna: un material aislante, ligero, resistente al fuego y con amplias aplicaciones industriales. (Owens Corning, 2015).

Entre las décadas de 1930 y 1940, el desarrollo de fibras sintéticas revolucionó la industria textil. En 1935 se inventó el nylon, y junto con otras fibras artificiales, se adaptaron los sistemas de urdido y beaming para poder trabajar con materiales más abrasivos y resistentes que las fibras naturales. En 1937, Saint-Gobain fundó ISOVER en Soissons y Rantigny, marcando el inicio de la producción industrial de lana de vidrio. Un año después, en 1938, la empresa dio inicio oficial a su actividad técnica en el área de fibra de vidrio, que más tarde evolucionaría hacia lo que hoy se conoce como Vetrotex.

Para 1939, ISOVER ya producía el 35% de toda la fibra de vidrio en Europa. Durante los años 40, en plena Segunda Guerra Mundial, Saint-Gobain desarrolló su propio proceso de trefilado, permitiendo mayor control y calidad en la fabricación de fibras. Este conocimiento técnico fue clave para el posterior desarrollo de maquinaria específica para procesar este nuevo material. En 1950 se probó por primera vez la máquina LET, que luego sería sustituida por el modelo TEL, más avanzado.

Durante la década de 1950, la fibra de vidrio se consolidó como producto industrial, especialmente por el impulso de Owens Corning, que la lanzó comercialmente para aplicaciones en aislamiento térmico. Con el tiempo, su uso se extendió también a refuerzos

textiles, lo que obligó a realizar ajustes en los sistemas de urdido, dado que la fragilidad del material requería mayor precisión en la tensión y en el guiado de los hilos.

En 1958, Saint-Gobain expandió su alcance con la creación de Fibravid en Brasil, compartiendo además patentes del sistema TEL con Certain Teed en Estados Unidos. Ya en los años 60, Vetrotex dio un salto importante al desarrollar fibras textiles de alta resistencia, ideales para tejidos ignífugos, térmicos y compuestos industriales. Estas innovaciones también exigieron modificaciones en las máquinas de beaming, para adaptarlas al comportamiento particular de los hilos de fibra de vidrio.

En 1979, Saint-Gobain reorganizó su división de fibra de vidrio y la renombró oficialmente como Vetrotex. Este crecimiento continuó con fuerza: en 1998 adquirió dos plantas en la República Checa, en Litomysl y Hodonice, y en 1999 inició operaciones en la planta ubicada en Tlaxcala, México, ampliando su capacidad de producción en América Latina. (Saint-Gobain México, s.f.)

Con la llegada del siglo XXI, el proceso de beaming también evolucionó. Se incorporaron tecnologías digitales a los sistemas de control, mejorando la calidad del enrollado, la trazabilidad del proceso y la eficiencia operativa.

Actualmente, el beaming de hilos de fibra de vidrio no solo representa un reto técnico, sino también un área de innovación continua que busca adaptar los procesos industriales a materiales cada vez más exigente. Como ahora que se está integrando la celda de carga de tipo S.

2.2 Conceptos

2.2.1 Hilo de fibra de vidrio

En la Tabla 2.1 Propiedades de la fibra de vidrio, se puede observar que los hilos de fibra de vidrio están formados por un número definido de filamentos de vidrio E de un diámetro nominal determinado, unidos entre sí para formar un hilo. Según (Saint-Gobain Vetrotex, s. f.), la estructura del hilo está fijada y protegida por un apresto y una ligera torsión, generalmente en dirección Z.

Nuestros hilos de fibra de vidrio E-Glass se enrollan en bobinas de plástico y se suministran en forma de “botella de leche”. Los hilos de vidrio Vetrotex también se pueden suministrar en vigas. La composición del vidrio cumple con la certificación para E-Glass según lo define la especificación estándar D578-00 de ASTM para filamentos de fibra de vidrio. También en la tabla – nos permitirá ver las propiedades del vidrio utilizado (E-Glass) y el vidrio tipo S. (Saint-Gobain Vetrotex, s. f.)

Tabla 2.1 Propiedades de la fibra de vidrio (Horrocks & Anand, 2000)

Propiedades de la fibra	Vidrio tipo E	Vidrio S
Resistencia de la tracción (GPa)	3.5E	4.6S
Módulo (GPa)	72E	87S
Elongación a la rotura (%)	4.8E	5.4S
Regain de humedad (%)	<0.1	<0.1
Densidad	2.55E	2.48S
Resistencia a la abrasión	Pobre	
Temperatura de uso (°C)	Muy alta	Muy alta
Uso continuo a corto plazo (°C)	315	315
Densidad de emisión de humo	Baja	Baja

2.2.2 Bobina

Las bobinas son los soportes donde se enrolla el hilo previamente fabricado (en el área de hilatura o extrusión), que luego se utiliza para formar la urdimbre en el proceso de beaming. Cada bobina alimenta individualmente un hilo hacia el warper. (Saint-Gobain Vetrotex, s. f.)

2.2.2.1 Proceso de formación de la bobina

El proceso de fabricación de las bobinas comienza con rollos de hilo de fibra de vidrio, que son instalados en una máquina conocida como Glass Twister. Esta máquina tiene la función de torcer y enrollar el hilo, organizándolo cuidadosamente sobre un carrete que le da forma a la

bobina. Durante este proceso, se controla el patrón de enrollado, la tensión del hilo y la velocidad de rotación, con el fin de asegurar que la bobina se forme de manera uniforme y con las características deseadas. (Saint-Gobain Vetrotex, s. f.)

Una vez que el carrete ha alcanzado el peso o la longitud de hilo estipulada, la bobina es retirada del Glass Twister y pasa a su siguiente etapa de uso o almacenamiento. Posteriormente, estas bobinas son utilizadas en el Warper 4, donde se integran al proceso de urdido, formando parte de los pasos previos a la elaboración de productos compuestos a base de fibra de vidrio. (Saint-Gobain Vetrotex, s. f.)

Este proceso es fundamental para garantizar la calidad y homogeneidad del hilo, ya que cualquier variación en la torsión, tensión o tipo de recubrimiento puede afectar el rendimiento y la calidad del producto final. (Saint-Gobain Vetrotex, s. f.)

2.2.2.2 Relevancia de las bobinas en el proceso de beaming

- Tensión inicial estable: Una buena bobina permite un desenrollado fluido, sin tirones ni sobresaltos, lo que ayuda a mantener la tensión uniforme.
- Reducción de defectos: Bobinas mal enrolladas o deformadas pueden causar nudos, cruces o roturas.
- Eficiencia del operario: Bobinas compatibles y bien organizadas en el creel reducen el tiempo de montaje y posibles errores.

2.2.3 Beaming

El proceso de beaming es una etapa fundamental en la preparación del warper, en el cual se conforman los beams de hilo que serán utilizados posteriormente en el telar. Su objetivo es garantizar que todos los hilos se enrollen de manera uniforme, alineada y con la tensión adecuada sobre una brida o tambor principal, permitiendo así un desempeño óptimo en el tejido (Saint-Gobain Vetrotex, s. f.)

La imagen 2.1 muestra un mapeo del proceso de beaming. Este proceso involucra diversos componentes que trabajan de manera coordinada para asegurar una correcta distribución y tensión del hilo. Entre los principales componentes se encuentran el creel, que incluye porta carretes, bobinas, retenedores de hilo y frenos; el tablero expansible; y el warper, que está conformado por el V-reed, rodillos, soporte para la brida y la beam. (Saint-Gobain Vetrotex, s. f.)

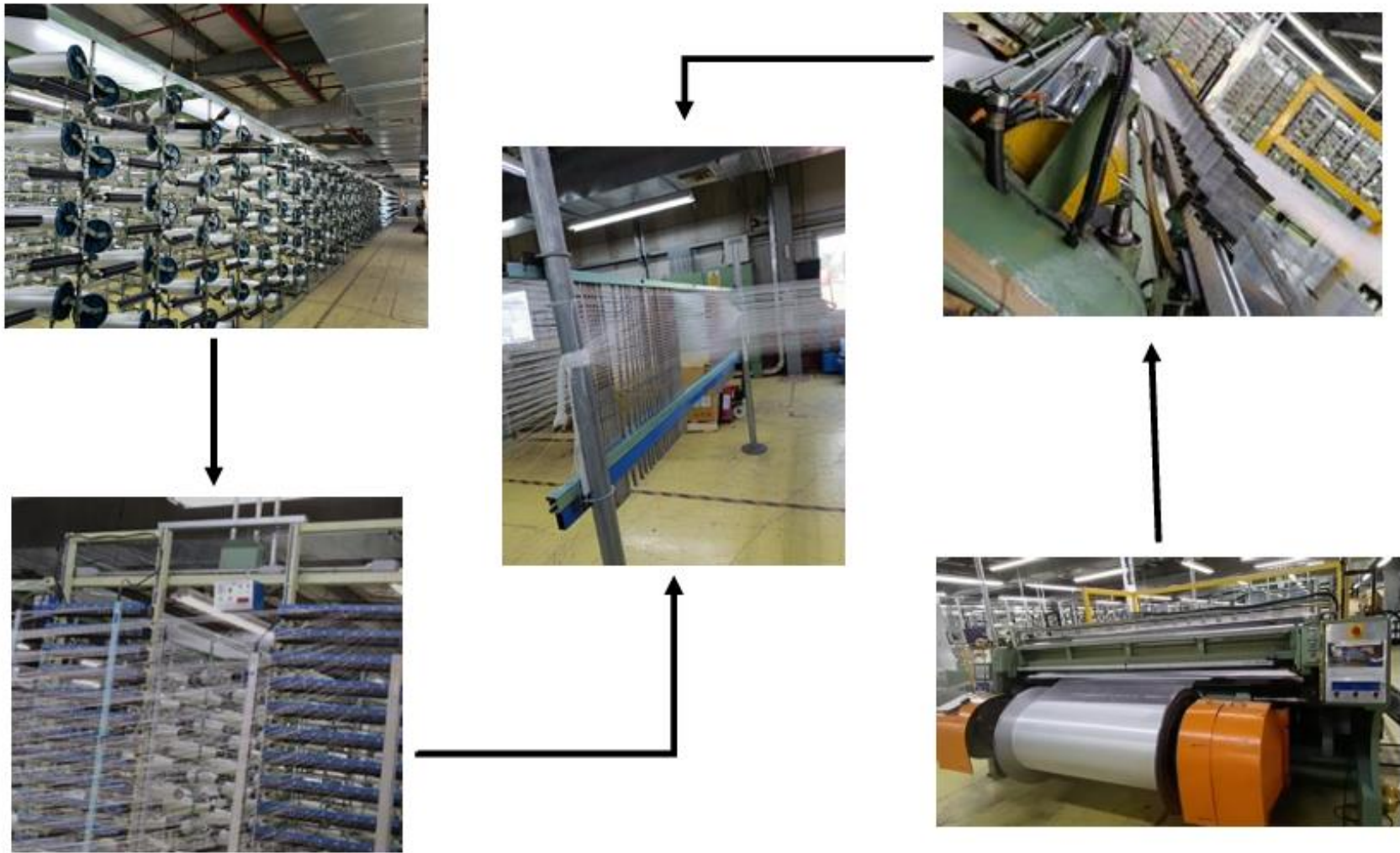


Figura 2.1 Mapeo del proceso de beaming (elaboración propia, 2025)

2.2.3.1 Creel

Sostiene y organiza múltiples bobinas de hilo, permitiendo su desenrollado controlado hacia el warper.

Una disposición adecuada del creel asegura una alimentación continua y sin interrupciones de los hilos, esencial para mantener la calidad en el proceso de beaming. (Textilecoach, 2021).

Tipos:

- Creel en V: Diseñado para operaciones de alta velocidad, permite un fácil acceso y minimiza el enredo de hilos.
- Creel Rectangular: Ofrece una disposición lineal de bobinas, facilitando el mantenimiento y la supervisión.
- Creel Móvil: Permite el desplazamiento del conjunto de bobinas, facilitando cambios rápidos y mantenimiento.

(Textilecoach, 2021)

2.2.3.1.1 Frenos

Es un freno de tensión individual con doble disco, donde el hilo pasa entre dos superficies metálicas (discos) que generan fricción controlada.

Cuando el hilo se desenrolla de la bobina, pasa entre los dos discos metálicos del freno.

La fricción generada entre estos discos resiste el giro libre de la bobina, controlando la tensión.

El operador puede modificar el apriete según el tipo de hilo o la tensión deseada, ajustando manualmente los tornillos. (Belal, 2016).

Funciones de los frenos

- Detecta roturas inmediatas de hilo durante el proceso de enrollado
- Evitar la formación de urdimbre incompleta, que puede causar defectos graves en el tejido
- Reducir desperdicio y minimizar paros prolongados por errores no detectados a tiempo
- Aumentar la eficiencia y calidad del proceso

Detector de ruptura de hilo

Es un dispositivo electrónico, óptico o mecánico que identifica la falta de paso de un hilo en una posición determinada. Cuando un hilo se rompe de un hilo, se detiene o no fluye

correctamente, el detector activa una señal de error o detiene el proceso automáticamente. (Belal, 2016).

2.2.3.1.2 Porta carrete

También llamado soporte de carrete o soporte de bobina. Es un dispositivo mecánico diseñado para sostener, fijar y permitir el desenrollado controlado de un carrete o bobina de hilo, alambre, cable, fibra o película durante un proceso industrial. (Saint-Gobain Vetrotex, s. f.)

Función de los porta carretes

- Mantener el carrete en posición estable.
- Permitir el giro libre o controlado (según sea pasivo o motorizado).
- Hay que asegurar que el material se desenrolle sin tirones, enredos o cambios bruscos de tensión.

2.2.3.1.3 Retenedores de hilos

Elementos elásticos utilizados en el proceso de urdido textil, cuya función es mantener una tensión constante sobre los hilos individuales que salen de las bobinas, evitando su retroceso, desalineación o enredos. Estas ligas sujetan suavemente cada hilo al bastidor mediante ganchos o anclajes, asegurando un flujo controlado y continuo hacia el sistema de guiado y tensado del urdidor. (Saint-Gobain Vetrotex, s. f.)

¿Cómo funcionan los retenedores de hilos?

- Están enganchadas entre el hilo y una parte fija del bastidor.
- Aplican una leve fuerza de tracción sobre el hilo, funcionando como una pequeña resistencia elástica.
- Son flexibles para adaptarse al movimiento del hilo, pero lo suficientemente firmes para mantenerlo controlado.

2.2.3.2 Tablero expandible

Es un dispositivo o estructura metálica con múltiples guías o ranuras, que sirve para separar, extender y organizar los hilos antes de que entren al peine (V-reed) y al beam. (Saint-Gobain Vetrotex, s. f.)

Funciones del tablero expandible

- Extender el haz de hilos desde su salida del creel hasta el ancho de trabajo
- Mantener separación y orden exacto entre los hilos.

- Evitar cruce o empalme entre hilos paralelos
- Alinear con precisión los hilos antes de entrar al peine o al rodillo
- Controlar la densidad de hilos por sección

2.2.3.3 Warper

El warper es una máquina textil utilizada en el proceso de urdido, cuya función principal es organizar y alinear múltiples hilos de fibra de vidrio provenientes de conos o bobinas, disponiéndolos de forma paralela y bajo tensión controlada para formar la urdimbre. (Saint-Gobain Vetrotex, s. f.)

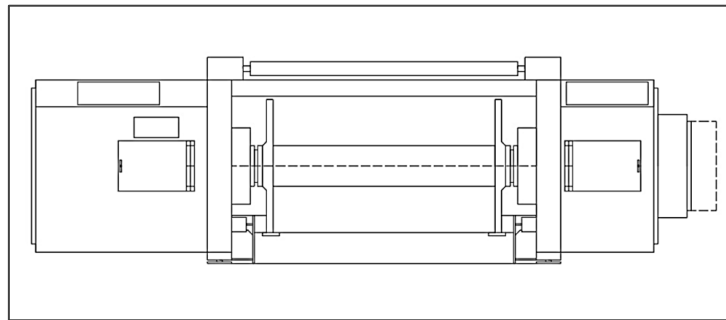


Figura 2.2 Warper parte delantera dibujo (elaboración propia, 2025)

En el caso específico de hilo de fibra de vidrio, el warper debe operar con especial cuidado para evitar dañar los filamentos, ya que este material es más frágil que las fibras textiles tradicionales. Por ello, se emplean tensores especiales, velocidades controladas y rodillos suaves que aseguran la integridad del hilo durante el proceso. (Adanur, 2001)

Tabla 2.2 – Tipos de urdidor Warper (Adanur, 2001)

Tipo	Función	Ventajas	Aplicaciones
Urdidor Directo	Transfiere los hilos directamente desde las bobinas hacia un rodillo de urdimbre	Alta precisión en tensión, ideal para hilos técnicos o especiales como fibra de vidrio.	Muy usada en procesos industriales que requieren lotes largos y homogéneos.
Urdidor Seccional	Forma la urdimbre en secciones, enrollando grupos de hilos en una tambora antes de pasarlos al rodillo final.	Permite trabajar con muchas referencias de hilo, colores o densidades distintas.	Ideal para tejidos con diseños complejos o producción a menor escala.

2.2.3.3.1 Rodillos

Los rodillos de arrastre son componentes mecánicos que se utilizan para guiar, mover o arrastrar materiales flexibles como tela, papel, plástico, hilos o láminas dentro de una máquina. Son esenciales en muchos procesos industriales donde el material debe desplazarse de forma continua y controlada. (Saint-Gobain Vetrotex, s. f.)

2.2.3.3.2 V Reed

Es una placa metálica o peine compuesto por delgadas láminas paralelas, con ranuras o espacios por donde pasan los hilos. Tiene una forma de “V” o un perfil inclinado que centra los hilos y los distribuye equitativamente.

- Alinear los hilos a lo largo del ancho de la viga del warper.
- Mantener una separación constante entre cada hilo para evitar cruces o amontonamientos.
- Controlar la densidad de hilos por pulgada o centímetro.
- Guiar los hilos suavemente hacia el rodillo de beaming o viga.

El V-Reed se instala justo antes del rodillo principal en el beaming. Cada hilo pasa por una ranura distinta, y su correcta selección evita tensiones desiguales, garantiza uniformidad y minimiza defectos en la urdimbre. (Groz-Beckert, 2019)

2.2.3.3.3 Beam

Bobina gigante, compacta y uniformemente enrollada, lista para ser utilizada en el telar o en etapas posteriores del proceso textil.

Un beam mal enrollado puede provocar variaciones de tensión, arrugas, fallas en el telar y defectos visibles en el tejido final. (Adanur, 2001)

Por ello, el proceso de beaming debe garantizar que el beam esté compacto, balanceado y con tensión uniforme en todos los hilos.

Funciones del Beam:

- Contener y transportar la urdimbre completa en forma de rollo.
- Conservar la tensión constante de los hilos ya alineados y ordenados.
- Facilitar el montaje rápido en los telares, sin necesidad de nuevos ajustes.

2.2.3.3.1 Proceso de formación de un beam

Este proceso inicia con la correcta selección y preparación del hilo, lo cual implica verificar su calidad, resistencia, limpieza y presentación. Una vez preparados, los hilos se cargan en el creel, una estructura metálica que sostiene múltiples bobinas. El creel cuenta con portacarretes, frenos y retenedores que permiten mantener una tensión constante durante el desenrollado, así como guías que ayudan a mantener los hilos alineados y ordenados.

(Saint-Gobain Vetrotex, s. f.)

Desde el creel, los hilos avanzan hacia el tablero expandible, que tiene como función distribuir y separar los hilos de manera uniforme. Este elemento evita que se crucen o se amontonen, asegurando una mejor organización para el enrollado posterior. Después del tablero expandible, los hilos pasan por el peine o V-reed, una pieza que mantiene la separación entre hilos de forma más precisa y definitiva antes de llegar al punto de enrollado.

Posteriormente, los hilos son conducidos mediante rodillos de arrastre que los llevan hasta el beam. Durante este trayecto, se mantiene una tensión uniforme para evitar deformaciones o rupturas. En la parte final del proceso, el cabezal de enrollado hace girar el beam, permitiendo que el hilo se enrolle de manera paralela, compacta y con las condiciones óptimas para su uso posterior.

Una vez alcanzada la longitud deseada, se corta el hilo, se asegura su extremo y el beam se retira cuidadosamente. El resultado es un cilindro de hilos organizados y tensados de forma uniforme, listo para pasar al siguiente proceso textil, como el urdido o directamente al telar, dependiendo del tipo de producto que se fabricará. (Saint-Gobain Vetrotex, s. f.)

2.2.4 Brida

Es un disco metálico que se monta en los extremos del beam para mantener los hilos dentro del ancho de enrollado, evitando que se desplacen o se salgan durante el proceso.

Importancia en procesos con hilo de fibra de vidrio:

En el caso de materiales como la fibra de vidrio, donde los hilos son más frágiles y sensibles a desviaciones, la brida debe ser perfectamente lisa y resistente, para evitar cualquier tipo de daño por fricción o contacto. (Saint-Gobain Vetrotex, s. f.)

Tipos de bridas

Según información proporcionada por Vetrotex (comunicación personal, mayo 2025) se utilizan diferentes tipos de bridas, las cuales varían tanto en tamaño como en capacidad. Esta diversidad se debe a que, en el proceso de beaming, el número de puntas puede ir de 590 hasta 1180, lo que exige el uso de bridas de distintas dimensiones para adaptarse a cada requerimiento. (Saint-Gobain Vetrotex, s. f.)

Algunos de los tipos de bridas que se manejan son:

- HTV
- Smit
- PTS
- GTV (núcleo largo y corto)
- Nano
- GTV
- Picanol



Figura 2.3 Brida utilizada en el proceso Beaming (Elaboración propia, 2025)

2.2.5 Celda de carga

2.2.5.1 Celda Isb302

La celda de carga modelo LSB302 es una opción compacta y precisa, diseñada para adaptarse a distintas aplicaciones. Está construida en aluminio anodizado y cuenta con roscas hembra, lo que facilita su instalación. Se encuentra disponible en capacidades que van desde las 25 hasta las 300 libras. Dependiendo del modelo, puede incluir un cable integrado o un conector que permite una conexión y desconexión rápida.

También existe una versión personalizada del LSB302 que ofrece características como resistencia parcial al agua, haciéndola útil en ambientes húmedos. Además, hay variantes con compatibilidad para vacío, una clasificación IP más elevada y compensación para operar en temperaturas más exigentes. (Logicbus, s. f.)

El modelo LSB302 cuenta con capacidades entre 25 a 300 lb, protección de sobrecarga de hasta 10 veces (o 5× en modelos de 300 lb), y mide tanto tensión como compresión con alta precisión (no linealidad $\approx \pm 0.05\%$). (Futek, s. f.)

Está fabricado en aluminio anodizado, tiene un peso ligero (~ 142 g), y ofrece conexión mediante conector LEMO o cable con grado de protección IP64.

Su salida nominal es de ± 2 mV/V, con una resistencia de puente cercana a $1000\ \Omega$. (Futek, s. f.)

2.2.5.2 Ecuación capstan

Es una ecuación de equilibrio de fuerzas con fricción que describe como aumenta o disminuye la tensión de un hilo o cuerda cuando pasa por una superficie cuya (rodillo) debido a la fricción entre el hilo y esa superficie. (Adanur, 2001)

Objetivo de aplicación

- Estimar la tensión del hilo después de pasar por un rodillo de fricción
- Comparar resultados teóricos con los datos reales obtenidos por la celda de carga
- Simular pérdidas o ganancias de tensión en diferentes configuraciones del sistema

Nos dice Adanur, 200, que la ecuación capstan tiene la siguiente estructura

$$T_{salida} = T_{entrada} \cdot e^{\mu\theta} \quad (2.1)$$

T_{salida} = Tensión del hilo saliendo del rodillo

$T_{entrada}$ = Tensión llegando al rodillo

μ = coeficiente de fricción

θ = ángulo de contacto en radianes

2.2.6 Parámetros

Los parámetros que se presentaran en la Tabla 2.2.5.1 son los que se utilizaron en la prueba de velocidad. (Saint-Gobain Vetrotex, s. f.)

Tabla 2.3 Parámetros de la prueba de velocidad (Vetrotex, s.f.).

Parámetro	Valor	Unidad
Velocidad Corrida	120	m/min
Velocidad de Arranque	30	m/min
Metros de arranque	300	M
Longitud	8000	m
Núm. de puntas	1180	
Ancho de Brida	96	in
Diámetro de Beam	39	in
Marca de Inicio	25	
Numero de brida	0	
# de Beams	1	
Velocidad de Jog	20	m/min
Velocidad Beam Limpio	20	m/min
Vel. Traverse Inicial	40	hz
Vel. Traverse Final	60	hz
Ref Torque Inicial	33	%
Ref Torque Final	73	%
Tensión de Beam parado	0	%
Tensión de rampa de paro	16	%

Donde cada uno de estos parámetros cumplen con lo siguiente:

- Velocidad corrida: es la velocidad nominal de operación durante el proceso de beaming después del arranque.
- Velocidad de arranque: velocidad reducida usada durante los primeros metros para garantizar una puesta en marcha.
- Metros de arranque: indica los primeros metros del proceso en los que se corre a velocidad reducida antes de alcanzar la velocidad nominal.

- Longitud: longitud total del hilo
- Número de puntas: número de hilos individuales que se están devanado simultáneamente.
- Ancho de bridas: ancho de la brida en físico, influyendo en el acomodo de hilo.
- Diámetro de beam: diámetro máximo del beam cuando está lleno
- Marca de inicio: posición donde se empieza a contar o registrar la producción efectiva
- Velocidad de jog: velocidad manual o de pruebas usada para mover lentamente el sistema, útil para posicionamiento o pruebas.
- Velocidad beam limpio: velocidad usada cuando está vacío o limpiar el beam.
- Vel. Traverse inicial: frecuencia de oscilación transversal al inicio del proceso, relacionado con el movimiento lateral del hilo.
- Vel. Traverse final: frecuencia al final del proceso, puede aumentar para compensar el cambio de diámetro del beam.
- Ref. Torque inicial: valor de referencia del torque al comenzar el proceso, se usa para control del motor.
- Ref. Torque final: valor de referencia al final del proceso, cuando el beam está lleno y requiere más torque.
- Tensión beam parado: valor de tensión cuando el beam está parado
- Tensión de rampa de paro: valor de tensión aplicado durante el frenado del sistema, para evitar roturas o aflojamientos de hilo.

CAPITULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Introducción al capítulo

En el presente capítulo se expone el desarrollo del proyecto, siguiendo los objetivos específicos y el cronograma planteados en el capítulo 1. Llevando a cabo un análisis detallado de las áreas de oportunidad y un diagnóstico del estado actual del warper, lo cual permitió identificar las principales problemáticas presentes en el proceso de warper, entre las que más destacan la pérdida de hilos durante el proceso por ende la pérdida de material, la variación de la tensión aplicada y la falta de precisión en el control del torque. Dichas condiciones representan factores críticos afectan directamente al proceso.

A partir de este diagnóstico, se definió un procedimiento de intervención orientado a proponer soluciones viables. Se implementaron estrategias basadas en la validación de torques y en la integración de dispositivos de medición, como será la celda de carga tipo S beam, que permitió obtener datos más precisos sobre los torques aplicados durante el proceso. Se desarrollaron cálculos y ecuaciones que facilitaron la estimación del torque real, con el fin de establecer parámetros de referencia confiables que apoyaran la toma de decisiones en el control del sistema. Además se documenta de manera sistemática el procedimiento seguido, los cálculos matemáticos aplicados y las pruebas realizadas, cada uno de ellos orientado a garantizar la validez y confiabilidad de los resultados .

Dichos elementos, analizados en conjunto, constituye una base sólida para la mejora del proceso beaming, contribuyendo a la reducción de fallas, optimizando de la tensión de los hilos y el aseguramiento de la uniformidad en la operación.

3.2 Análisis de las áreas de oportunidad, estado inicial o punto de partida del proyecto

Durante la operación del warper se identificaron diversas problemáticas que afectaban directamente a la calidad del producto y a la eficiencia del proceso.

Entre la fallas más recurrentes destacaron la pérdida de hilos, el rompimiento frecuente durante el enrollado y la variación en la tensión aplicada en el hilo. Estas situaciones provocaban paros no programados, reproceso y desperdicio de materia prima, lo que representa un impacto técnico y económico para la empresa.

Uno de los principales hallazgos fue la falta de precisión en la medición del torque y la tensión. El sistema operaba con parámetros establecidos empíricamente y sin contar con una retroalimentación confiable en tiempo real. Esta limitación dificulta la correcta calibración del equipo ante diferentes condiciones de trabajo, generando inestabilidad al proceso.

Como punto de partida del proyecto, se evaluaron las condiciones del warper y se recopiló información técnica sobre su funcionamiento. A partir de este análisis, se identificó la necesidad de implementar un sistema de medición más confiable, capaz de proporcionar datos reales y repetibles.

La opción seleccionada fue la incorporación de una celda de carga tipo S – beam , con el objetivo de medir de forma directa la tensión del hilo durante el proceso y, a partir de este valor, estimar el torque aplicado durante el proceso.

3.3 Desarrollo del proyecto paso a paso

3.3.1 Validación de torques W4

Para llevar a cabo la validación de torques dentro del proceso, se utilizaron como referencia los resultados obtenidos previamente en la “Prueba de velocidad”. Esta prueba fue fundamental para establecer una base de comparación que permitiera analizar cómo varía el torque en función de diferentes condiciones de operación, especialmente cuando se modifican parámetros críticos como la velocidad del sistema.

Los parámetros utilizados durante esta prueba fueron cuidadosamente seleccionados para cubrir un rango representativo de condiciones reales de trabajo. Entre estos parámetros se incluyeron la velocidad en distintos niveles, el número de hilos (ends) en operación, el tamaño de la brida, así como las características específicas del producto procesado.

Esta validación resulta esencial para asegurar la eficiencia energética del sistema, evitar esfuerzos mecánicos excesivos que puedan generar desgaste prematuro en los componentes, y garantizar la calidad y uniformidad del producto final.

3.3.1.1 Valores obtenidos de la prueba

Esta prueba consistió en un aumento de velocidad de forma progresiva hasta llegar a 800 metros.

Los primeros 300 metros a una velocidad de 30 m/min, cuando llegó a los 300 metros la velocidad aumentó a 90 m/min.

Se tenía previsto que la velocidad fuera de 120 m/min, sin embargo, hubo fallas y la velocidad se estableció a 110 m/min, dando como resultado un proceso.

Durante la prueba el operador en cada 1000 metros tomaba nota de los torques que se arrojan fueron los siguientes (Tabla 3.1):

Tabla 3.1 Torques (operador) (elaboración propia, 2025)

Metros corridos	Torque % (O)
0	33
1000	38
2000	42.9
3000	48.9
4000	44.6
5000	48
6049	63.5
7000	68
8000	78.7

En esta prueba se utilizó un rango de torque que es “33% - 73%” en la hoja donde se anotan los torques. El torque máximo fue de 78.7% como se muestra en la Tabla 3.1. Se considero como un error en la prueba por los paros que se presentaron en esta. Sin embargo, el rango establecido es el que se estableció en la especificación por medio del análisis antes hecho por el departamento de desarrollo, el área Beaming y mantenimiento.

Es importante señalar que el rango de valores puede variar según el número de puntas (ends), el tipo de material, la brida, la longitud de hilo a enrollar y otros parámetros relevantes que deben considerarse.

Tomando en cuenta lo anterior, se desarrolló una ecuación que permitió validar los torques con base en la información previa. Es importante mencionar que esta ecuación no se limita al cálculo por cada 1000 metros de hilo, sino que permite calcular el torque para cualquier longitud de hilo. No obstante, en este caso se utilizarán los mismos valores presentados en la Tabla 3.1, modificando únicamente el valor del torque, el cual será reemplazado por los valores obtenidos mediante la ecuación. Lo anterior se puede visualizar en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Torques (formula) (elaboración propia, 2025)

Metros corridos	Torque % (E)
0	33
1000	38
2000	43
3000	48
4000	53
5000	58
6049	63.49
7000	68
8000	73

3.3.1.1.1 Ecuación para la validación de torques

La ecuación toma en consideración el torque inicial y el torque final. También se toma en cuenta la longitud del beam como se muestra (3.1).

$$T(x) = T_i + \left(\frac{T_f - T_i}{L} \right) \cdot X \quad (3.1)$$

donde:

T = Torque

T_i = Torque inicial

T_f = Torque final

L = Longitud total

x = Longitud recorrida

Iniciamos con 0 metros en el beam, nos da como resultado un torque de 33% al cual está determinado desde antes de que inicie el proceso, este está establecido en los ajustes.

- 0 metros

$$T(x) = 33\% + \left(\frac{73\% - 33\%}{8000 \text{ m}} \right) \cdot 0 \text{ m}$$

$$T(0) = 33\%$$

Por ejemplo, a los primeros 300 metro se obtiene un torque de 34.5%

$$T(x) = 33\% + \left(\frac{73\% - 33\%}{8000 \text{ m}} \right) \cdot 300 \text{ m}$$

$$T(300) = 33\% + ((0.005\%) \cdot 300\text{m})$$

$$T(300) = 33\% + 1.5\%$$

$$T = 34.5 \%$$

Otro ejemplo será el cálculo de 1000 metros y 8000 metros que serán el inicio y final del registro que marca el Tabla 3.1 y Tabla 3.2

- 1000 metros

$$T(x) = 33\% + \left(\frac{73\% - 33\%}{8000 \text{ m}} \right) \cdot 1000 \text{ m}$$

$$T(1000) = 33\% + ((0.005\%/m) \cdot 1000 \text{ m})$$

$$T(1000) = 33\% + 5\%$$

$$T = 38\%$$

- 8000 metros

$$T(x) = 33\% + \left(\frac{73\% - 33\%}{8000 \text{ m}} \right) \cdot 8000 \text{ m}$$

$$T(8000) = 33\% + (0.005\%/m) \cdot 8000 \text{ m}$$

$$T(300) = 33\% + 40\%$$

$$T = 73\%$$

Como se anotan los valores cada 1000 metros, entonces se obtienen valores similares eso se puede visualizar en la Tabla 3.1 y Tabla 3.2.

Es fundamental tomar en cuenta que durante la prueba correspondiente al incremento de velocidad en el Warper 4, se realizaron diversos cambios en la velocidad de operación con el objetivo de evaluar el comportamiento del equipo bajo distintas condiciones de carga y exigencia mecánica. Como resultado de estas variaciones, algunos de los datos registrados pueden mostrar discrepancias o desviaciones respecto a los valores estándar de producción, lo cual debe considerarse al momento de interpretar los resultados.

Adicionalmente, durante el desarrollo de la prueba se presentaron múltiples paros en la producción. Estos paros estuvieron directamente relacionados con los cambios progresivos de velocidad, ya que cada nuevo ajuste representó un reto tanto para los sistemas de control como para los componentes mecánicos del warper.

La prueba dio inicio con una velocidad de 30 m/min considerada segura para establecer una línea base de comparación. Posteriormente, se incrementó la velocidad a 90 m/min y luego a 110 m/min, con un comportamiento aceptable en ambas etapas, aunque con ligeros ajustes requeridos en la tensión del hilo y la sincronización del sistema. Finalmente, se alcanzó una velocidad máxima de 120 m/min. Este último valor, aunque dentro del rango permitido por el diseño del equipo, provocó el mayor número de interrupciones, evidenciando limitaciones en el sistema al operar en condiciones de alta exigencia.

Estos paros pueden atribuirse a factores como desalineación en las bridas, sobrecarga en los servomotores, desfase en los sensores de tensión o reacción retardada del sistema de freno. Por lo tanto, los datos obtenidos durante esta etapa deben analizarse con especial cuidado y tomarse como referencia para establecer límites operativos seguros en futuras ejecuciones.

3.3.2 Integración de Celda de Carga Tipo S-Beam FUTEK en el Proceso de Beaming

Ubicación en el proceso

La celda de carga de tipo S se instaló en un rodillo flotante, ubicado entre el V-reed y beam (más en específico antes del primer rodillo del warper), debe tener un ángulo conocido (180°), generando una fuerza perpendicular que será transmitida a la celda. Esta configuración permite medir la tensión real.

Integración

La salida eléctrica de la celda se conectó a un módulo amplificador, considerando dos opciones según el entorno de aplicación:

- HX711 en fase de prototipo.
- Transductor 4–20 mA para aplicaciones industriales con integración a PLC.

Posteriormente, la señal acondicionada se envió al PLC del warper, donde se programó el registro de valores de tensión cada 1000 metros de hilo procesado, en concordancia con el método de monitoreo previamente utilizado.

Procedimiento

-Visita técnica y detección de problemática

El primer paso fue la visita al área de trabajo donde se llevará a cabo la propuesta de mejora, específicamente en el módulo de beaming, dentro del equipo Warper 4. Durante este recorrido, se observaron detenidamente las condiciones actuales del proceso y se documentaron diversas problemáticas, siendo la más relevante la rotura frecuente de hilos durante el proceso de enrollado. Este fenómeno representa una pérdida significativa de material, económica y afecta directamente a todo el proceso.

-Recolección de información técnica

Con el apoyo del departamento de mantenimiento, se recabó información sobre cómo se monitorean actualmente los parámetros operativos, en particular el torque aplicado durante el proceso. Se identificó que, hasta el momento, los valores de torque se expresan únicamente como un porcentaje (%) dentro de un rango estimado, sin referencia directa a valores absolutos en newton-metros (Nm), lo que dificulta la precisión del control del sistema.

Durante esta etapa, se reconoció la influencia crítica del tipo de material sobre el comportamiento del proceso, ya que variables como el micraje, tex, peso específico, tipo de brida y el número de puntas (ends) influyen directamente en la tensión y el torque requeridos.

-Registro de parámetros y validación inicial

Se consultaron registros anteriores y tablas internas donde se identifican los rangos de torque utilizados según el tipo de material. Sin embargo, se detectó una falta de correlación directa entre estos valores porcentuales y una referencia física tangible como el torque real. Para validar esta situación, se realizó una prueba práctica que consistió en incrementar la velocidad del proceso, observando que dicha acción provocó una rotura considerable de hilos y múltiples paros no programados.

Ante esta situación, se solicitó retroalimentación técnica al personal mantenimiento, quienes mencionaron tres causas principales que podrían explicar este comportamiento:

- El tipo de material no era compatible con la velocidad aplicada.
- Los frenos del creel no eran los adecuados para el tipo de hilo utilizado.
- No se contaba con información precisa sobre la tensión real en el proceso.

-Investigación técnica

Ante la necesidad de obtener datos reales y cuantificables de torque y tensión, se inició un proceso de investigación exhaustiva utilizando diversas fuentes, como literatura técnica especializada, motores de búsqueda, consultas con operadores experimentados, e incluso herramientas de inteligencia artificial.

El objetivo principal fue encontrar un método confiable que permitiera medir con precisión la tensión real del hilo durante el proceso de beaming. Como resultado, se identificó la posibilidad de utilizar una celda de carga tipo S como solución viable.

-Selección de la celda de carga adecuada

La siguiente etapa consistió en determinar qué tipo específico de celda de carga tipo S se ajustaría mejor a las condiciones del proceso. Para ello, se realizó un análisis comparativo entre distintos modelos, tomando en cuenta las capacidades de carga, sensibilidad, precisión, compatibilidad mecánica y resistencia al ambiente.

Algunas dudas técnicas surgieron durante esta etapa, por lo que se procedió a contactar directamente a proveedores especializados en sensores de fuerza. Aunque algunos contactos fueron inicialmente complejos debido a diferencias de idioma y ubicación geográfica, se logró establecer comunicación con un proveedor local que brindó orientación.

El proveedor requirió más información acerca del proceso como imágenes y videos para ver entre su gama de celdas cual era la más factible para el proceso, teniendo en cuenta que este se maneja un material sensible a la hora de ser manipulado o expuesto a velocidades que pueden provocar que el hilo se desfilamente o se rompa. Nos presentó varias opciones, sin embargo, la que se eligió como finalmente fue la celda de carga modelo LSB302.

- Instalación

Se fijo la celda de carga en el rodillo flotante entre el V-reed y el beam, asegurando que la fuerza del hilo actúe perpendicularmente con un ángulo de 180° , de manera que la tensión se aplique axialmente al sensor.

Se colocó un rodillo flotante alineado axialmente y se utilizó elementos de sujeción como rod ends para transmitir la carga directamente a la celda, evitando fuerzas laterales o torsión. El soporte debe ser rígido y plano, evitando deformaciones bajo carga para garantizar mediciones precisas.

Cuando el rod end se instaló correctamente en la celda, se alineo con el eje de carga. Se apretó la tuerca de seguridad con un torque controlado según las especificaciones del fabricante; esto asegurando una conexión firme y repetible.

Para cargas elevadas, se recomendó la pre-cargar hasta 110–140 % de capacidad nominal y apretar manualmente la tuerca, en lugar de usar una llave de torque, para evitar daños al sensor.

Para cableado se utilizó el estándar de 4 hilos (Positivo + (rojo), negativo - (negro), +Señal (verde), –Señal (blanco)).

Se aseguro adecuadamente el cable para evitar movimientos, torsiones o impactos. Utiliza drip loops en ambientes húmedos para proteger la celda de la entrada de agua.

Para evitar interferencias se utilizó una de poder regulada y se conectó la pantalla (por ejemplo, HX711 al inicio o en la prueba o transductor 4-20 mA para el proceso completo) de forma diferencial.

Para realizar una calibración inicial se utilizaron cargas conocidas en el proceso, utilizando pesos estándar o pruebas realizadas en planta. Luego se comentó a se podrían aplicar calibraciones de puente (“shunt”) si es necesario; los valores típicos para el LSB302 son de 150 k Ω .

*Programa revisiones periódicas (idealmente anuales) para mantener precisión con base en la frecuencia de uso y condiciones del proceso.

Información proporcionada por: (Proveedor, junio 2025, (Futek, s. f.), (Logicbus, s. f.).

-Funcionamiento

La tensión real del hilo mientras se enrolla en el beam durante el proceso de beaming se usará para calcular el torque real, detectar sobreesfuerzos o caídas de tensión prevenir defectos y roturas.

Esta ira ubicada sobre un eje de un rodillo flotante, que se colocara entre V reed y el beam. El hilo pasará por este rodillo haciendo contacto en un ángulo de forma que, al tensarse, el hilo ejercerá una fuerza hacia abajo sobre el rodillo, que será medida por la celda.

Cuando el hilo tira del hilo, este transfiere una fuerza mecánica a la celda. La celda tipo S la convierte una señal eléctrica analógica proporcional a la magnitud de esa fuerza.

Luego esta señal se puede amplificar con un módulo y enviarse a un PLC.

-Pruebas funcionales y adquisición de datos

Posterior a la instalación, se desarrollaron pruebas funcionales para validar el correcto funcionamiento de la celda.

La primera prueba fue ver el funcionamiento de la celda, que arrojará datos

Estas pruebas permitieron verificar la lectura estable de datos de tensión y, con base en ello, se procedió al cálculo del torque real utilizando las ecuaciones correspondientes, como la ecuación de Capstan.

Cálculo

-Ecuación capstan

Es una ecuación de equilibrio de fuerzas con fricción que describe como aumenta o disminuye la tensión de un hilo o cuerda cuando pasa por una superficie cuya (rodillo) debido a la fricción entre el hilo y esa superficie.

-Objetivo de aplicación

- Estimar la tensión del hilo después de pasar por un rodillo de fricción
- Comparar resultados teóricos con los datos reales obtenidos por la celda de carga
- Simular pérdidas o ganancias de tensión en diferentes configuraciones del sistema

-Aplicación en warper 4

Se identificó el rodillo

Se hizo la selección del rodillo de mayor fricción o mayor ángulo de contacto entre el creel y la celda de carga

Determinar el ángulo θ (en grados se debe convertir en radianes):

La celda mide una fuerza normal que debe convertir en tensión. Si el hilo forma un ángulo α con respecto al horizontal, la relación es.

$$F_{celda} = 2T \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (3.2)$$

Controlar y calcular la tensión del hilo durante el proceso de beaming (cuando los hilos se enrollan en el beam) para mantener la calidad del producto y evitar rupturas o sobre estiramientos.

Tabla 3.3 Variables con su valor (Vetrotex, s.f.).

Variables	Valor
Longitud	8000m
Ends	1180
Dureza	86
Peso neto	1282kg
Peso del beam	1515kg
Diámetro inicial beam	267cm
Ancho del beam	95.6 x 39
Velocidad inicial	30m/min +- 10
Velocidad después	110m/min +- 10
Micraje	9
Tex	0.37
Rango torque	33% - 73%

-Ecuación para obtención de torque

Estimar el torque aplicado en el motor del proceso (warper 4) cada 1000 metros, utilizando la tensión medida por la celda de carga.

Para esto primero establezcamos la formula general del torque:

$$\tau = T \cdot r \quad (3.3)$$

Donde:

τ = torque (Nm)

T = tensión total (N)

r = radio (m)

Tomando en consideración los valores de la tabla 3.3

Procedimiento:

En el punto anterior se mostró como obtener el valor de la fuerza de la celda.

Ahora calcularemos la tensión real por hilo usando nuevamente la ecuación de capstan

$$T_{hilo} = \frac{F_c}{2 \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (3.4)$$

Donde:

T_{hilo} = Tensión de hilo

F_c = Fuerza de la celda

α = ángulo

Para α se debe obtener el valor en radianes, dado que nuestro ángulo está a 180° se obtiene lo siguiente:

Si α es igual a 180° en radianes obtendríamos el siguiente resultado

$$\alpha = 180^\circ = \pi \text{ rad}$$

$$\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = 1$$

Así obteniendo la ecuación final para obtener la tensión por hilo

$$T_{hilo} = \frac{F_c}{2} \quad (3.5)$$

Ahora se calculará la tensión total del proceso

$$T_{total} = T_{hilo} \cdot \text{numero de puntas}$$

$$T_{total} = \frac{F_c}{2} \cdot \text{numero de puntas}$$

A continuación, se calculará el radio del beam, tomando en consideración que cambia el tipo de producto, de brida, de longitud entre otros parámetros.

$$r = r_0 + \left(\frac{r_f - r_0}{L_t}\right) \cdot L_a \quad (3.6)$$

Donde:

r_0 = radio inicial de la brida

r_f = radio final del beam

L_t = metros de hilo totales

L_a = metros de hilo procesado hasta ese punto

Obteniendo los valores anteriores podremos obtener el torque real que el motor debería estar aplicando en ese instante.

Otra forma para calcular nuestro torque es la siguiente:

Calcular el radio del beam en cada instante con base en cuanto hilo ha pasado y cuanto volumen ocupa ese hilo, usando Tex (3.7), micraje y numero de puntas.

Con el tex sabemos cuanta masa hay por metro de hilo individual.

$$1Tex = \frac{1g}{100m} = 0.001g/m \quad (3.7)$$

Con esto se puede estimar la masa del hilo enrollado hasta cierto punto L

$$m(L) = \frac{tex}{100} \cdot L \cdot N \cdot puntas \quad (3.8)$$

Ahora se debe convertir esa masa en volumen, usando la densidad de la fibra de vidrio.

$$\rho = 2.54 \frac{g}{cm^3} = 2540 \text{ kg/m}^3$$

Entonces

$$V(L) = \frac{m(L)}{\rho} \quad (3.9)$$

Ahora podemos calcular nuestro radio

$$V(L) = \pi(r^2 - r_0^2) \cdot \omega \quad (3.10)$$

r = radio actual

r_0 = radio de la brida

ω = ancho del beam

Despeje

$$r = \sqrt{\frac{V}{\pi\omega} + r_0^2}$$

Y nuevamente podremos calcular nuestro torque, dado que ya tenemos nuestros datos necesarios para su cálculo y podremos retomar la ecuación (3.3).

CAPITULO 4. ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis resultados

Se propone un sistema de medición directa de la tensión en el proceso de beaming más específico en el warper 4, utilizando una celda de carga tipo S, estratégicamente montada sobre el rodillo flotante.

Mediante esta implementación, se logra calcular el torque aplicado por el motor del beam en tiempo real, utilizando dos enfoques:

- La primera opción que se propone es la del torque real medido por la fuerza detectada por la celda de carga y la aplicación de la ecuación de capstan para obtener la tensión del hilo.
- la segunda opción es la del torque estimado teóricamente con base en los datos del hilo (número de puntas, Tex, longitud) y el modelo de crecimiento del radio.

El resultado es un sistema más preciso, confiable y dinámico para monitorear el esfuerzo del motor, que:

- Mejorar el control automático del proceso
- Permite reaccionar ante tensiones diferentes
- Reducción de roturas y paros en el proceso
- Establece una base técnica para futuros sistemas de control
- Evitando la perdida de producto
- Disminuyendo el mantenimiento correctivo e implementando el mantenimiento preventivo.

4.2 Conclusiones

La implementación de un sistema de medición utilizando una celda de carga tipo S para la medición de la tensión del proceso de beaming del warper 4 representara una mejora sustancial en la capacidad del control, monitoreo y análisis del comportamiento dinámico del hilo durante el enrollado. Tradicionalmente, el control de torque en el proceso está limitado por el sistema que se tiene, dando como resultado valores en porcentaje del torque y solo teniendo aproximaciones.

Este proyecto permitirá resolver esa limitación mediante el diseño e integración de un sistema que mide de forma directa la fuerza ejercida por el haz de los hilos sobre un rodillo flotante. La celda de carga convertirá esa fuerza en una señal eléctrica que, a través de la ecuación de Capstan, se traduce a una medición más precisa en la tensión del hilo individual.

La tensión multiplicada por el número de ends permitirá tener la tensión total del proceso y al integrarla con el radio actual del beam, se podrá calcular en tiempo real el torque aplicado por el motor del warper.

Además de que se desarrollaron dos ecuaciones para estimar el radio del beam dinámicamente.

En general, este desarrollo proporciona un sistema confiable, replicable y dando una mejora del desempeño del warper 4, reduce las incidencias de calidad, optimizar y fortalecer el enfoque de mejora continua.

4.3 Recomendaciones

La automatización del sistema permitirá tener un mejor control del proceso y así poder identificar posibles fallas antes de que presenten y perjudiquen la producción de la planta.

Calibrar periódicamente la celda de carga nos ayudara a garantizar los resultados y la confiabilidad de las mediciones.

Se sugiere tener la celda en un lugar seguro, para evitar daños como golpes, vibraciones intensas, polvo, etc., también asegurarse que la señal analógica está protegida con filtro y aislamiento eléctrico.

Documentación y capacitación al personal para asegurar su sostenibilidad a largo plazo.

BIBLIOGRAFIA

REFERENCIA CORTA	REFERENCIA COMPLETA
(Saint-Gobain Vetrotex, s. f.)	Saint-Gobain Vetrotex. (s. f.). Vetrotex. Recuperado de https://www.vetrotextextiles.com/
Saint-Gobain México, s.f.	Saint-Gobain México. (s.f.). Saint-Gobain México. https://www.saint-gobain.com.mx/
Adanur, 2001	Adanur, S. (2001). Handbook of weaving.
Horrocks & Anand, 2000	Horrocks, A. R., & Anand, S. C. (Eds.). (2000). Handbook of technical textiles.
FUTEK Advanced Sensor Technology, 2023	FUTEK Advanced Sensor Technology. (2023). LSB200 S-Beam Load Cell. https://www.futek.com/product/lbsb200
Universidad Nacional Autónoma de México, 2020	Universidad Nacional Autónoma de México. (2020). Tesis: Aplicación de celdas de carga en procesos de enrollado industrial. Repositorio UNAM.
Suzhou Y.S.D. Textile Co., Ltd., s.f.	Suzhou Y.S.D. Textile Co., Ltd. (s.f.). Stable tension system: Direct warping machine in air-jet loom – High-speed 600 m/min usage for polyester textured mother yarn.
Owens Corning, s.f.	Owens Corning. (s.f.). Owens Corning [Página web]. Recuperado el 4 de julio de 2025, de https://www.owenscorning.com/
Textile School, 2019	Textile School. (2019). Beam warping process and tension control. https://www.textileschool.com/229/beaming-process-in-textiles/
Belal, 2016	Belal, P. D. (2016). Understanding Textiles for a Merchandiser. Dhaka: Mukto Publishers.
Textilecoach, 2021	Textilecoach. (2021). Types of creels in warping. Textilecoach.net. https://www.textilecoach.net/
Logicbus, s.f.	Logicbus. (s.f.). Celdas de carga Futek LSB302. Recuperado en junio de 2025 de https://www.logicbus.com/
Groz-Beckert, 2019	Groz-Beckert. (2019). Warp preparation products. Groz-Beckert KG.

ANEXO A. PARTES DEL PROCESO BEAMING

En este anexo se visualizarán imágenes de las partes que conforman el proceso de beaming, dado que en Figura 2.1 se mostró el mapeo general del proceso, se mostrara a más detalle cada parte fundamental para dicho proceso.

En la Figura A.1 podemos ver los componentes del Creel, como el porta carrete o porta bobina, también las bobinas que se usan en el proceso.



Figura A.1 Creel

En la figura A.2 se puede visualizar más cerca el porta carrete o porta bobina y las bobinas ya puestas en el porta carrete.

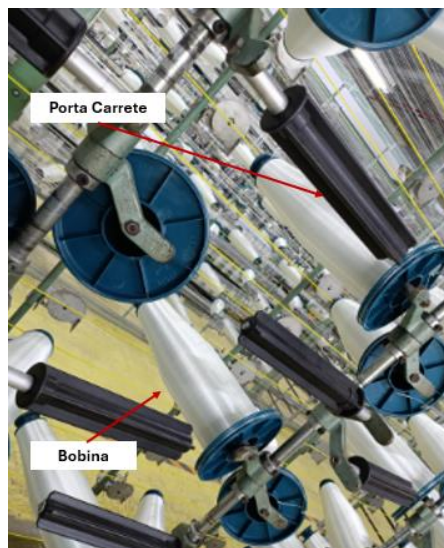


Figura A.2 Porta carrete

En la figura A.3 se verá la parte del warper en este caso es el V reed



Figura A.3 V reed

Figura A.4 Es un bien terminado que ya está listo para enviar

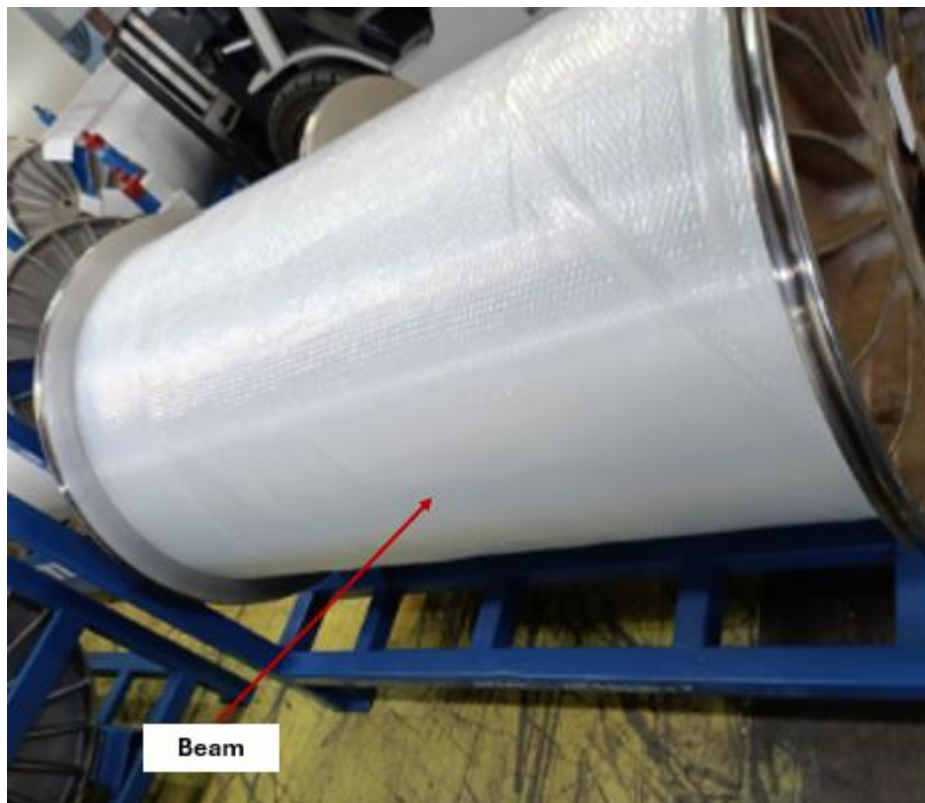


Figura A.4 Beam

Figura A.5 Son las bridas que se usan en el proceso

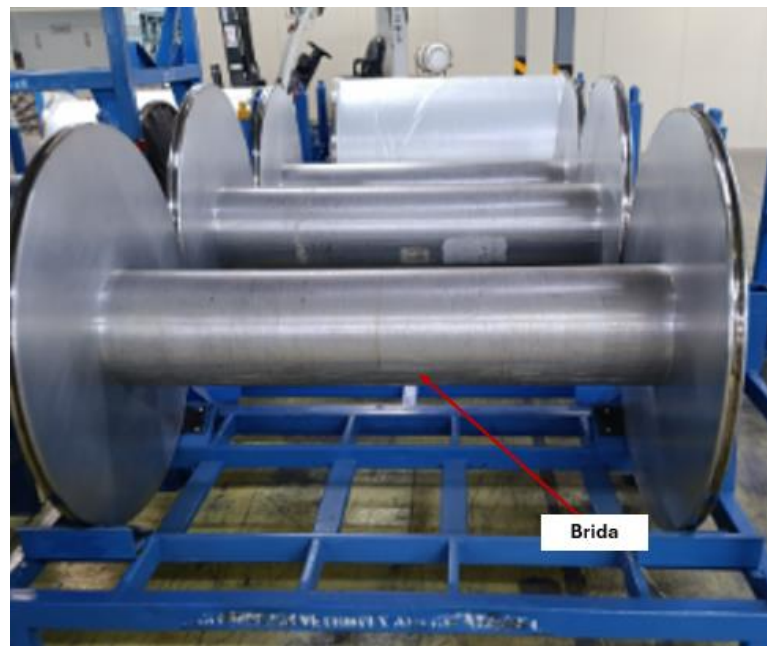


Figura A.5 Brida

Figura A.6 Los retenedores de hilos y los frenos son parte del Creel que ayudarán a que el hilo trabaje correctamente.

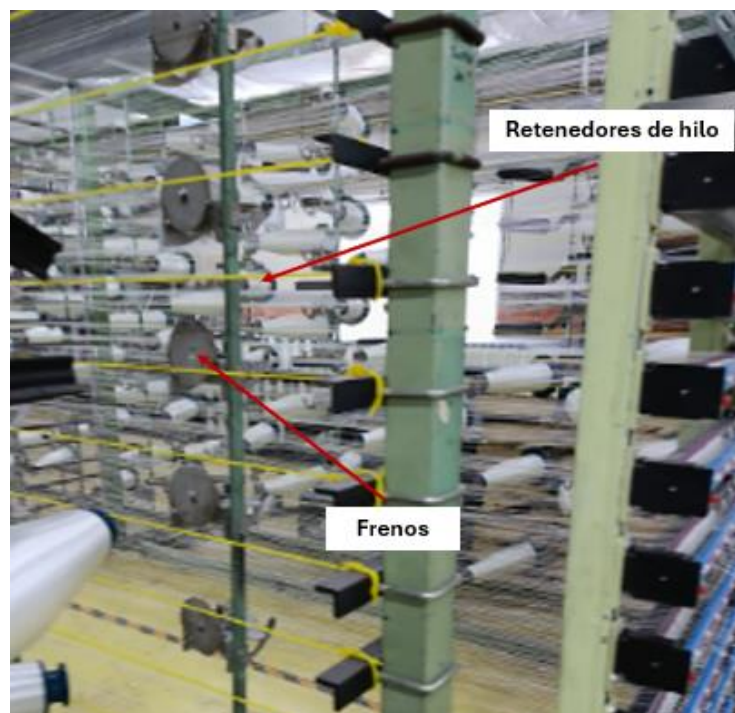


Figura A.6 Retenedores de hilos y frenos

La figura A.7 nos ayudan a saber cuándo un hilo está en mal estado o tiene pelusa entre otras cosas que pueden afectar el proceso



Figura A.7 Detector de ruptura de hilo

La figura A.8 Frenos dónde pasan el hilo

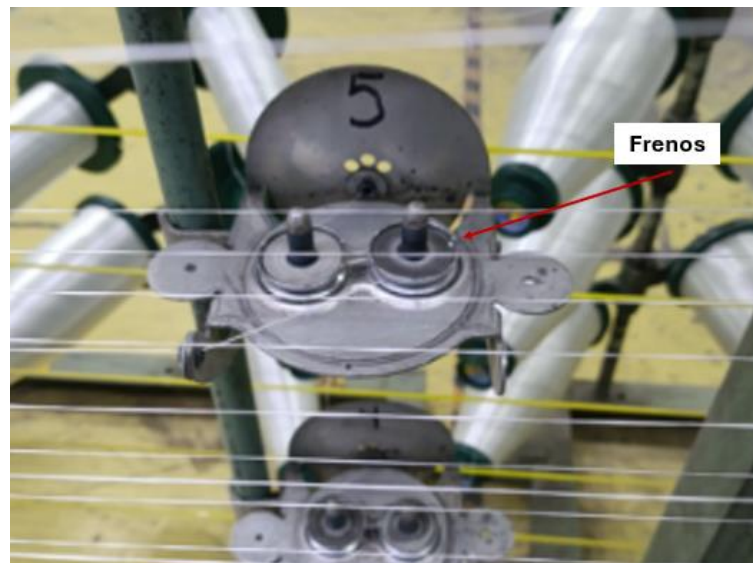


Figura A.8 Frenos

Figura A.9 son los botones de control el proceso ya sea para arrancar el proceso, marcha lenta y paro

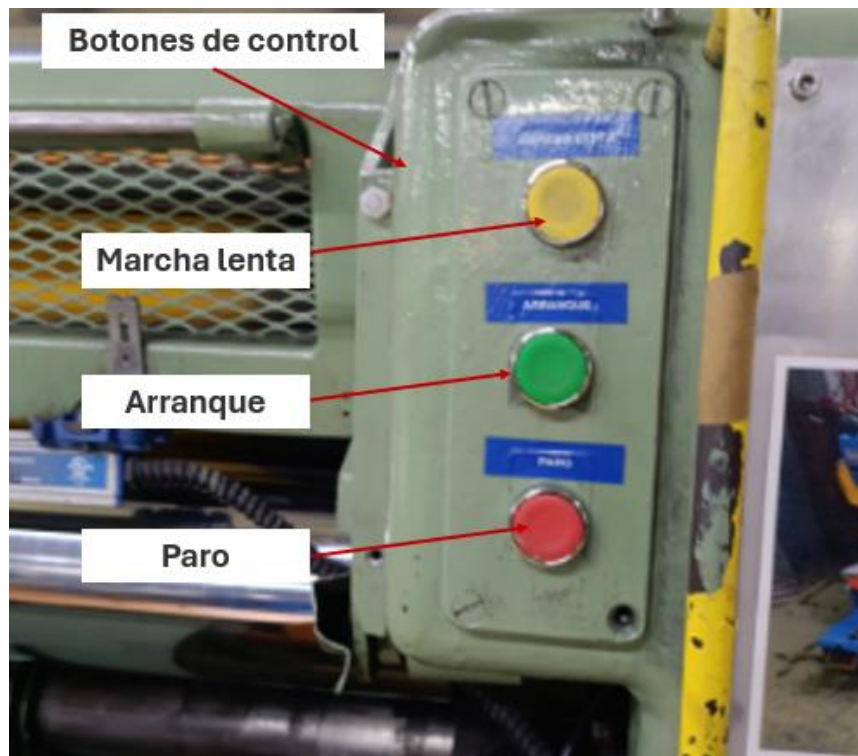


Figura A.9 son los botones de control

Figura A.10 Es la parte delantera del warper donde también se puede visualizar un beam en proceso



Figura A.10 Es la parte delantera del warper

Figura A.11 es la parte que alimentará nuestro proceso



Figura A.11 Fuente de alimentacion

ANEXO B. HOJA DE DATOS DEL SENSOR DE CARGA MODELO LSB302

Figura B.1 y figura B.2 es la celda de carga en 3D y el dibujo de la marca Futek



Figura B.1 Celda de carga (Futek, s. f)

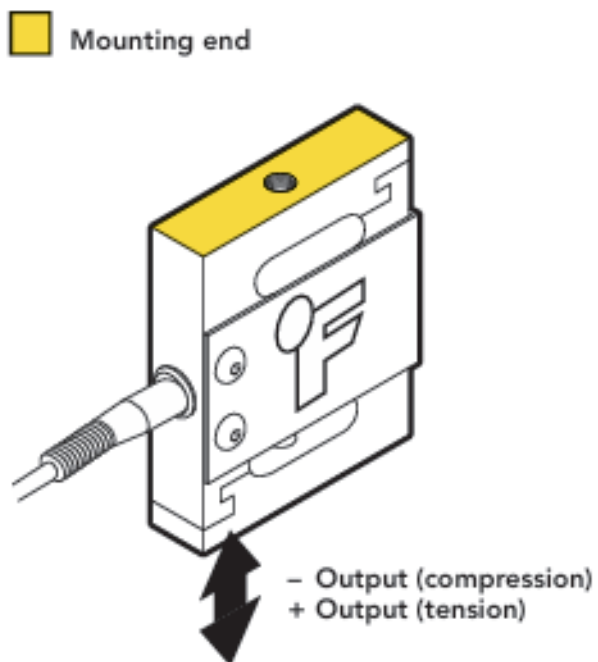


Figura B.2 Dibujo Celda (Futek, s. f)

Figura B.3, Figura B.4, Figura B.5 y Figura B.6, se presentan las características de la celda, desde medidas, capacidad, los pines y los códigos de cableado.

DIMENSIONS inches [mm]

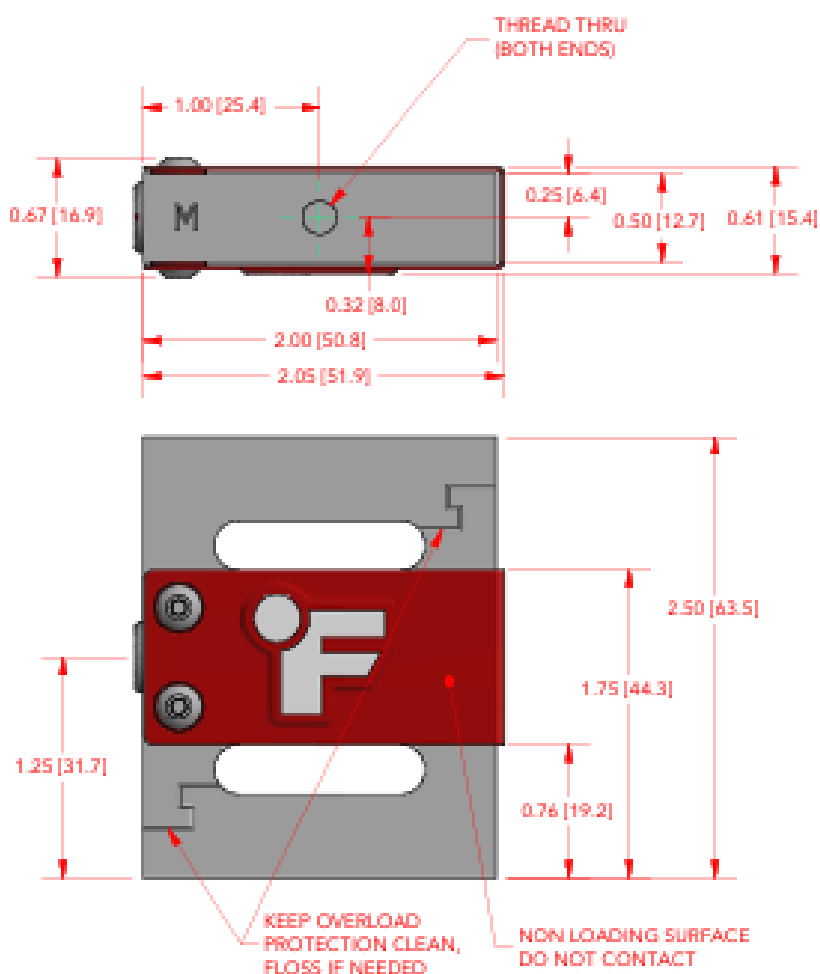


Figura B.3 Dimensiones de la celda (Futek, s. f)

CAPACITIES						
ITEM #	lb	N	Thread	Natural Frequency (Hz)	Deflection (in.)	LEMO® Connector
FSH04200	25	111	1/4-28	1150	0.006	X
FSH04205			M6 x 1			X
FSH04201	50	222	1/4-28	1600	0.006	X
FSH04206			M6 x 1			X
FSH04202	100	445	1/4-28	2200	0.007	X
FSH04207			M6 x 1			X
FSH04470	300	1334	1/4-28	2600	0.015	X
FSH04469			M6 x 1			X

Figura B.4 Capacidad de la celda (Futek, s. f)

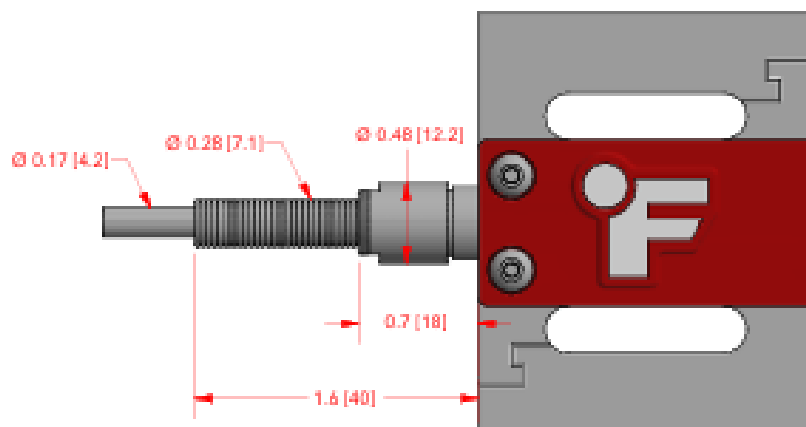


Figura B.5 Dimensiones de la celda (Futek, s. f)

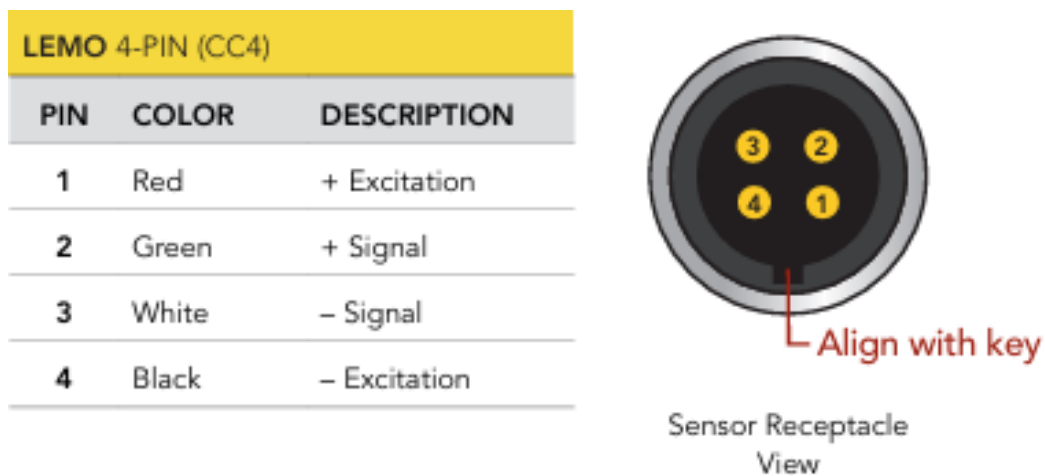


Figura B.6 Pines de la celda (Futek, s. f)

WIRING CODE (WC4)	
RED	+ EXCITATION
BLACK	– EXCITATION
GREEN	+ SIGNAL
WHITE	– SIGNAL
ORANGE	+ SENSE
BLUE	– SENSE
SHIELD	GROUNDED

Figura B.6 Códigos de cableado de la celda Pines de la celda (Futek, s. f)