

# DESARROLLO DE UN AMBIENTE SEMIAUTOMATIZADO PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE CONCEPTOS DE PRODUCCIÓN APLICADOS A LA INDUSTRIA DE CONFECCIONES.

J.A. Cock Ramírez<sup>1</sup> y M. Osorio Beltrán<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de investigación INAMOD. Centro de Formación en Diseño, Confección y Moda. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Itagüí, Colombia.

jcock@sena.edu.co; marosorio@sena.edu.co

**Palabras clave:** Manufactura Sincronizada, Confecciones, Sistemas Semiautomáticos, SCADA, Manejo de Materiales.

## RESUMEN

**E**n este artículo se presenta el resultado de un proyecto de investigación cuyo objetivo fue el diseño, desarrollo e implementación de un ambiente semiautomatizado de enseñanza y aprendizaje de procesos de producción en confección, conformado con el uso de una banda transportadora con movimientos discretos controlados por PLC, botones en cada estación y software de supervisión SCADA. El ambiente permite enseñar a los aprendices del Sena de confecciones, con una mayor apropiación de conceptos y técnicas útiles de manufactura esbelta, de una manera práctica, lúdica y didáctica. El ambiente sirve de laboratorio y es referente como un modelo de producción para la industria de las confecciones en Medellín. Con este modelo se rompen paradigmas del uso de la automatización en un sector en el que, la productividad y calidad, dependen en gran medida de la habilidad del operario, y en el cual los cambios de referencia de producto son continuos debido a la moda.

El proyecto parte de la necesidad de la industria del sector de las confecciones de aumentar la productividad para tener una mayor competitividad a nivel global [1],[2]. Las empresas deben incluir en sus estrategias temas como la innovación y la tecnología, la infraestructura, la logística, para conquistar mercados internacionales [3]. Esto es particularmente importante en la industria de Medellín, dado que esta actividad es una de las principales en la ciudad. El sector textil-confecciones al 2021, y desde hace muchos años, ha sido de gran importancia en la economía nacional. En 2014 el sector textil-confección tuvo una participación del 9,2% en el PIB de toda la industria manufacturera del país [4]. Antioquia ha tenido una gran participación en número de empresas de dicho sector con un 23.83% al 2012, sólo superado por Bogotá con un 48.61% [5]. De acuerdo con la Cámara de Comercio de Medellín [6], en el departamento de Antioquia la mayoría de las empresas son micro (90% al 2020) y pequeñas (7.3% al 2020). Esta misma entidad calcula que el 50% aún no se han formalizado. Estas empresas cuentan con recursos insuficientes para hacer vigilancia tecnológica y personal con un bajo nivel educativo y poco conocimiento para hacer un control muy eficiente de planta, a diferencia de la gran industria [1], por lo que se requieren soluciones económicas y sencillas, pero que permitan incrementos notorios en cuanto a productividad y eficiencia.

En Colombia, el sector textil/confección, diseño y moda cuenta con una cadena de producción consolidada y desarrollada, destacándose como uno de los cuatro sectores con crecimiento positivos en el 2019. La conquista de nuevos mercados, una mayor productividad, el fortalecimiento de los procesos de diseño, el desarrollo de producto y la integración de nuevas tecnologías, han logrado que algunas marcas sean reconocidas a nivel nacional e internacional. Según Raddar 2020 [7], respecto al gasto en productos relacionados con la moda en el mes de agosto del 2020, los hogares colombianos gastaron 1,72 billones de pesos. Esto representó el 2,9% del gasto de las familias. Sin embargo, la producción y ventas siguen cayendo frente al 2019, con un decrecimiento del -36.1% es una industria que busca subsistir en la actual crisis económica.

A nivel nacional, al 2019, el sector de confecciones contó con una participación en la producción bruta del 2,8% de la industria manufacturera [8], con 71.369 personas ocupadas. Según la Cámara Colombiana de la Confección y Afines y el gremio de los confeccionistas [9], se resalta que es un sector altamente representativo en la actividad industrial del país y en la participación del PIB y que requiere de atención. Con más de cien años en la historia económica nacional, su tejido empresarial está conformado

en un 99% por empresas Micro, Pequeñas y Medianas empresas (Mipymes), las cuales presentan considerables brechas en materia de competitividad. La tecnología, la mejora de procesos, las deficiencias en investigación, la innovación y el desarrollo tecnológico, el valor agregado en diseño y la falta de especialización en segmentos de mercados, son los grandes retos que enfrenta el subsector [10].

Una forma de contribuir en mejorar la productividad es promoviendo la automatización desde los procesos de formación en confección del Sena donde, a partir de una formación experiencial, los aprendices ahora interactúan con tecnologías semiautomatizadas que simulan procesos de producción reales, lo que les permite aprender conceptos útiles de manufactura esbelta y conceptos básicos de automatización de una manera práctica, lúdica y didáctica. Esta experiencia facilita el desarrollo de aprendizajes significativos y transformadores aplicables en la industria. La estrategia de inclusión de tecnologías como las TIC y la automatización en el ambiente de clase, facilita la experimentación y toma de datos, lo que permite al alumno validar la teoría apoyado en la práctica y potencia su aprendizaje [11]. El uso de tecnologías como la automatización en la educación, ha dado forma a la Ingeniería Educativa, permitiendo lograr espacios para la construcción del conocimiento [12]. Otra forma de incentivar el desarrollo tecnológico es mostrarle a la industria a modo de referente, el uso de otros modelos y técnicas de automatización útiles para una toma rápida de decisiones y un mayor control de planta.

El proyecto realizado consiste en el diseño, desarrollo e implementación de un ambiente semiautomatizado, para la enseñanza y aprendizaje de conceptos de producción aplicados a la industria de confecciones con movimiento de materiales en proceso, mediante el uso de una banda transportadora con control sincrónico y movimientos discretos controlados con PLC y con captura de información de las operaciones en tiempo real, con la ayuda de un software de supervisión, control y adquisición de datos SCADA, para desplegar parámetros de producción en una pantalla gigante, de manera que los aprendices puedan ver la duración de las operaciones y sus tiempos promedio, para identificar así los cuellos de botella de un proceso productivo en confecciones.

En este artículo se presentan los resultados obtenidos describiendo cómo fue la concepción, diseño, implementación del ambiente semiautomatizado, su uso posterior y cómo se ha de medir el impacto real esperado. Actualmente, este ambiente ya se está instalando en el Sena, en la fase de socialización y apropiación del proyecto por parte,

tanto de los instructores como los aprendices que se encuentran en etapa de producción. En las primeras pruebas de producción se están confeccionando camisetas tipo Polo, de las cuales se tienen estándares y tiempos de procesos esperados en módulos de confección convencionales, que permitirán hacer comparativos y verificaciones del incremento en productividad respecto a otros módulos haciendo el mismo producto. Algunos aprendices que participaron en la implementación han sido entrevistados con el fin de determinar el impacto en su formación, sin embargo, el objeto fundamental de este artículo es presentar la funcionalidad y cómo se implementó el ambiente semiautomatizado. Para el diseño del ambiente se hizo uso de diferentes conceptos; se realizó una integración mecatrónica que es aplicada al manejo y transporte de materiales, lo que permite de una manera didáctica, a modo de laboratorio de enseñanza y aprendizaje, la apropiación de conceptos de producción aplicados a confecciones. A continuación, se dan claridades sobre cada concepto referente.

## 1.1 MECATRÓNICA:

Es una disciplina que integra sistemas mecánicos, electrónicos y eléctricos, control e informática. Útil en la elaboración de máquinas, productos, procesos y equipos inteligentes. Integra áreas y tecnologías relacionadas con sensores, elementos de control basados en microcontroladores y microprocesadores, y actuadores o sistemas de accionamiento. [13]. Los Controladores Lógicos Programables PLCs son elementos basados en Microprocesadores usados en el control de sistemas de automatización.

## 1.2 SISTEMAS DE MANEJO DE MATERIALES:

Los sistemas de Manejo o Movimiento de Materiales, Material Handling, son una combinación de procesos, métodos, personas y equipos, para el transporte, embalaje, y almacenamiento de materiales, partes o productos, de acuerdo a un tiempo y espacio disponibles. El Instituto sobre Manejo de Materiales, MHI, da lineamientos útiles al manejo de materiales según el tipo, tamaño, fragilidad y normas de seguridad. Los equipos de manejo de materiales, MHE, pueden ser de muchos tipos, como bandas transportadoras, *conveyors*, estibas, montacargas, *buffers*, robots, almacenes automáticos, etc. [14].

## 1.3 SCADA:

Los sistemas SCADA, (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) [15], son un concepto de sistema de comunicación y software que permite controlar y monitorear procesos industriales a distancia, en tiempo real, comunicándose con dispositivos de campo, dando información útil de calidad, funcionamiento, almacenamiento de datos y supervisión.

# 02 MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se desarrolló en siete etapas.

## 2.1 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES DEL SECTOR PRODUCTIVO:

Desde un enfoque cualitativo, se parte analizando la necesidad de que las empresas del sector de confecciones deben ser altamente competitivas en un entorno global, particularmente en la ciudad de Medellín, donde este sector cobra gran protagonismo por ser uno de los más importantes en la economía. Se realiza un árbol de problemas, Figura 1, usando metodologías de lluvia de ideas y análisis en grupo con expertos técnicos del centro de Formación en Diseño, Confección y Moda, Sena, para determinar cuáles son las causas principales de improductividad en las pequeñas y medianas industrias del sector de confecciones, dado que estas empresas representan aproximadamente el 97,4% de este tipo de industria en la ciudad.

Del árbol de problemas se identifican como causas de improductividad, las deficiencias en sistemas y modelos de producción, y en el uso de maquinaria y tecnologías actuales y competitivas. De las entrevistas, tormentas de ideas y análisis, se concluye que estas deficiencias pueden estar presentes tanto en la grande como en la pequeña industria.

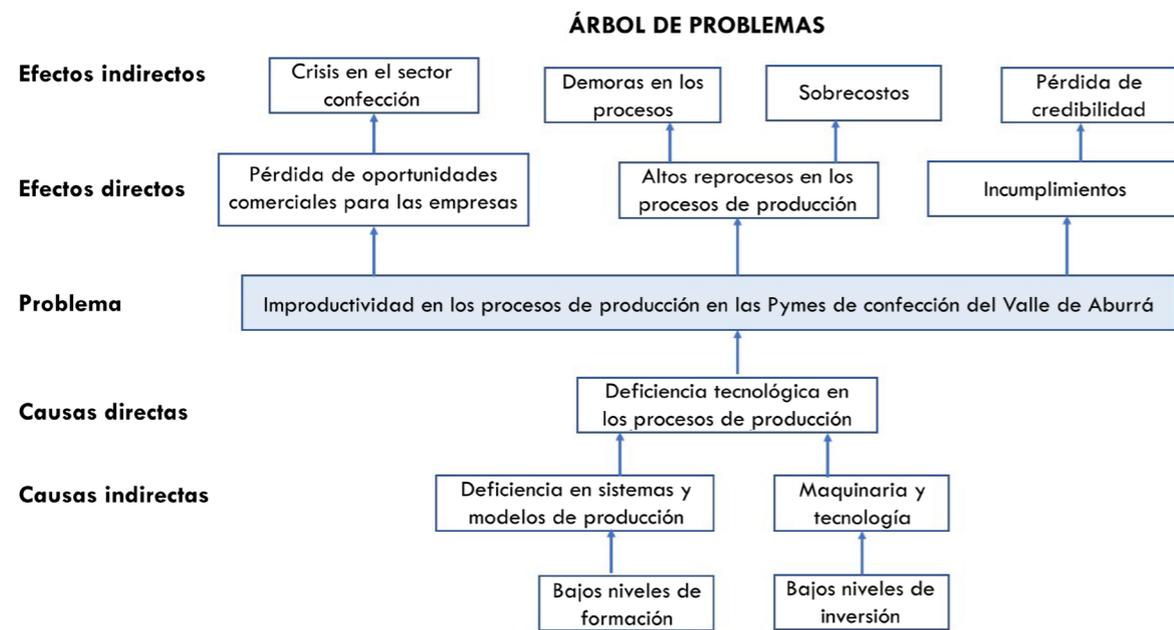


Figura 1. Árbol de problemas

## 2.2 CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA:

En esta etapa se realizó una revisión desde una perspectiva cualitativa, del estado actual de uso de tecnologías de manejo de materiales, MHS, particularmente de sistemas automáticos en empresas de diferentes tamaños del sector de confecciones de la ciudad de Medellín. Se realizaron entrevistas con expertos en el sector de confecciones que, actualmente, trabajan como instructores del Sena y como asesores de productividad, debido a su amplia experiencia en los diferentes procesos relacionados con el sector de las confecciones. Se realizaron visitas a tres empresas grandes del sector de confecciones y se hizo entrevista a los encargados de producción. De acuerdo con los expertos entrevistados, las empresas micro y pequeñas no cuentan con suficientes recursos financieros para invertir en sistemas automáticos ni para invertir en capacitaciones o para investigar en nuevas tecnologías, y se concentran en el trabajo operativo del día a día.



## 2.3 CONSOLIDACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA PRODUCTIVIDAD:

A partir de los resultados obtenidos anteriormente con las entrevistas y visitas, se plantea la siguiente pregunta: ¿Qué sistemas de producción semiautomatizada se pueden implementar en los procesos de formación en producción en confecciones, que permitan más control y acceso a la información de forma rápida? A partir de esta pregunta, se analizó cómo los sistemas de producción en línea y los sistemas de adquisición de datos aumentan la productividad, y segundo, cómo un operario formado en un ambiente semiautomático impactará de forma positiva las industrias en cuanto a productividad. Partiendo de experiencias previas en sectores diferentes como el sector automotriz, línea blanca y electrónica, donde se tiene un gran avance en sistemas de automatización, manejo de materiales e ingeniería industrial, se plantearon las siguientes hipótesis:

- Se pueden aplicar sistemas alternos o complementarios al sistema modular usado convencionalmente en el sector de las confecciones, y diferentes modelos productivos con más control y acceso a la información de forma rápida, como por ejemplo, los sistemas de producción en línea y los sistemas de adquisición de datos, que aumenten la productividad.
- Un operario instruido en un ambiente semiautomático impactará de forma positiva las industrias en cuanto a productividad.

## 2.4 CONSOLIDACIÓN DE INFORMACIÓN TÉCNICA ESPECIALIZADA PARA EL AMBIENTE:

Se comenzó planteando en reuniones, junto con instructores de electrónica, conceptos de semiautomatización para confecciones. El primer concepto, incluía el uso de microcontroladores y Tablet en cada puesto, con programación Web y comunicación a un servidor vía WiFi, para control de producción. Una segunda opción, fue la de poner una banda transportadora con movimiento discreto regulado con un sensor de posición, botones de aviso en cada estación, y bandejas para el transporte de materiales, con retorno por rampa inclinada. En este modelo se contempla poner las máquinas de confección alternadas y estaciones de inicio y fin. Figura 2.

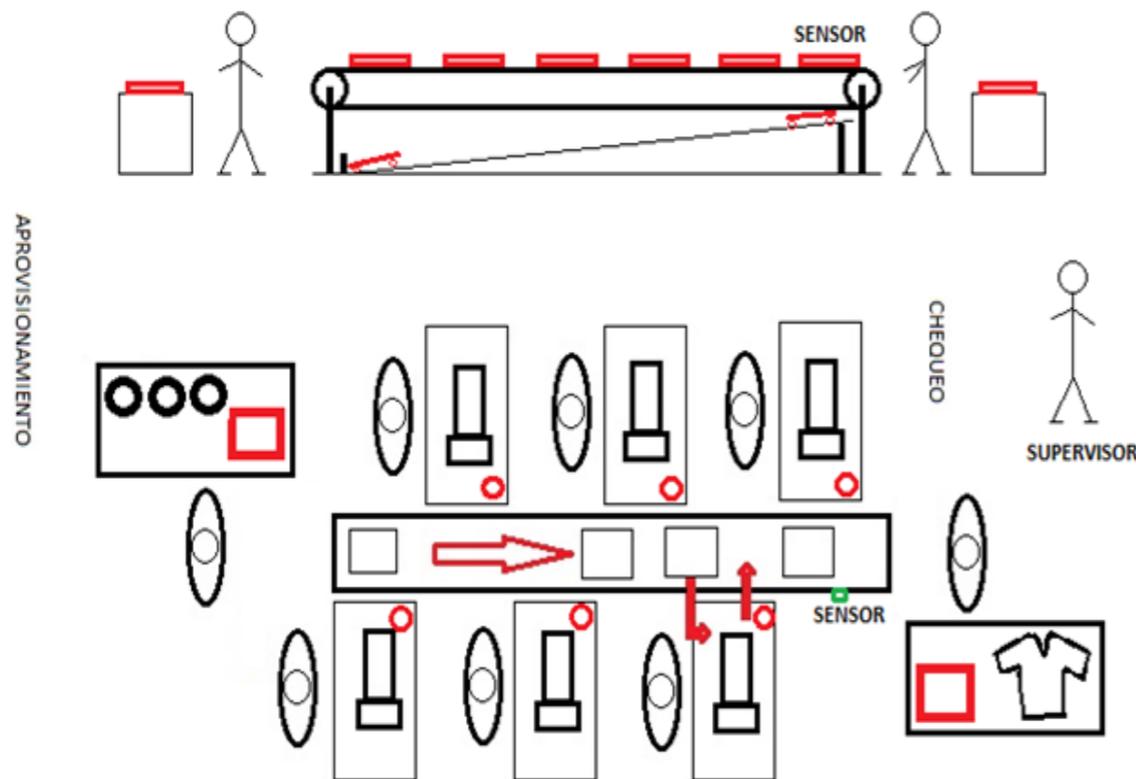


Figura 2. Concepto inicial de banda transportadora

**2.4.1 Construcción de concepto técnico:** Se analizó que el diseño incluyera sistemas de control por PLC, sin bandejas y con movimiento continuo o discreto, con paros de emergencia en cada estación y con comunicación con botones y balizas usando cables. Este concepto fue seleccionado por la robustez. El sistema incluye elementos de captura y despliegue de información que permite a los estudiantes de confecciones aprender el uso de maquinaria y elementos relacionados, teorías de producción como la identificación de cuellos de botella, balanceos de línea, indicadores de productividad, curvas de aprendizaje, cambios rápidos de alistamientos (SMED), Manufactura esbelta, etc.

## 2.5 DISEÑO DEL PROTOTIPO AMBIENTE SEMIAUTOMATIZADO:

Se diseñó un cronograma y se inició el proyecto determinando las restricciones de espacio del taller del Sena. Se determinó el lugar de uso de una banda y los requerimientos de diseño en cuanto a ergonomía, seguridad para el operario y valorando riesgos laborales, acorde a normas técnicas y disposiciones legales como el decreto

1443 de 2014 de Colombia [16], referente al Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo, el Diseño antropométrico de puestos de trabajo [17], y la norma NTC 5831 (NTC, 2010) [18]. Se determinaron los puestos requeridos acorde al proceso, para dimensionar la banda. Se revisó una ficha técnica de un producto estándar para entender cómo sería el balanceo de operaciones en las máquinas disponibles. Según las restricciones y deseos, se identificaron elementos portadores de funciones, se cotizaron de diferentes proveedores, y se diseñó la banda en cuanto a los sistemas: mecánico, eléctrico y neumático. Se modelaron mediante Solidworks y Flexim, el diseño general, Figura 3, y se hicieron los planos del sistema eléctrico, mecánico y de ubicación en el taller en Autocad.

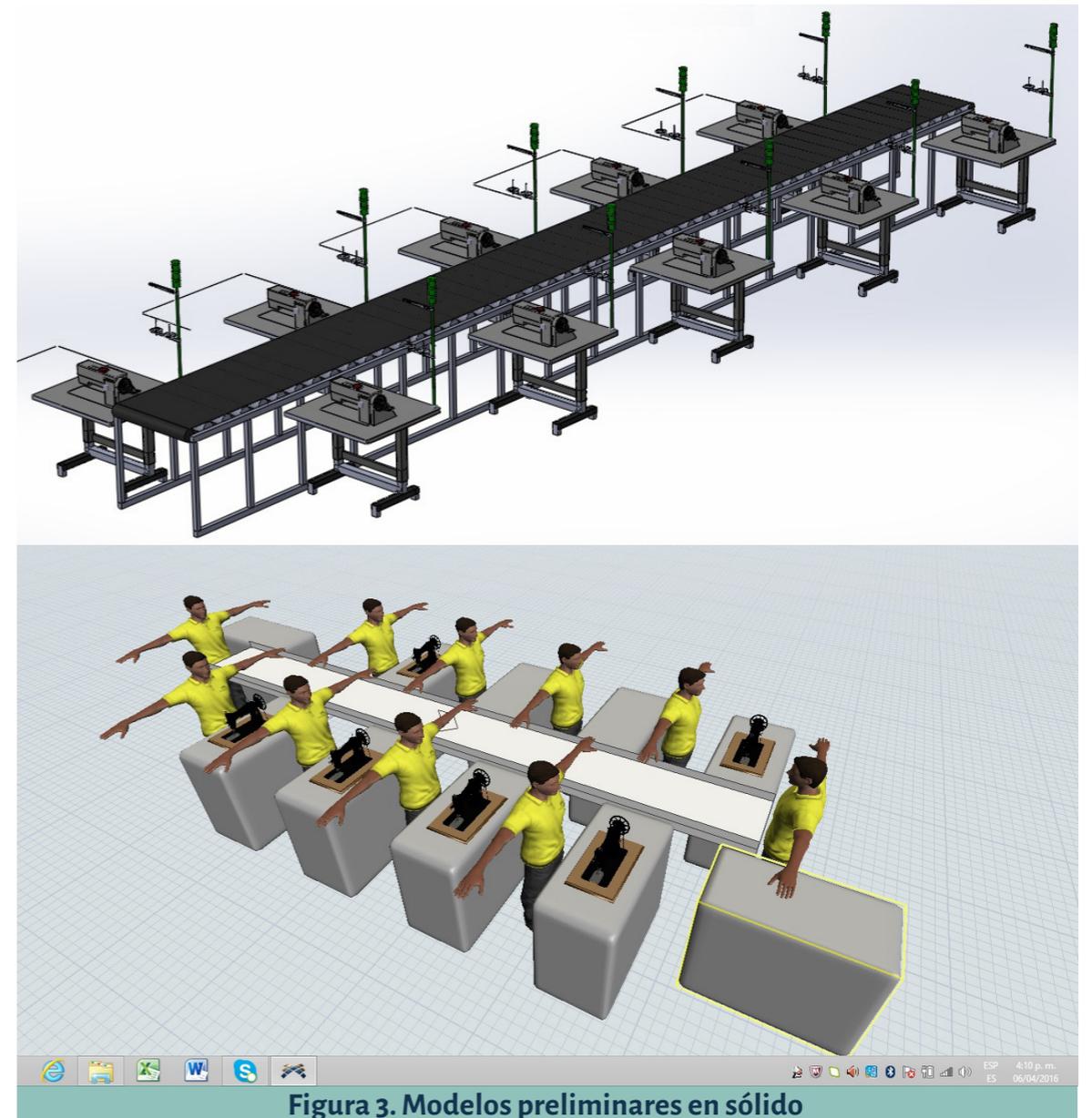


Figura 3. Modelos preliminares en sólido

Validados los planos con un proveedor integrador externo, se ejecutó el montaje de la banda con sus sistemas de control y sistema SCADA. La documentación fue concluida por este proveedor, que incluye manual de operación, configuración, mantenimiento y acceso al PLC mediante el SCADA. Actualmente, se está en la etapa de implementación y apropiación del método de trabajo sincrónico y uso del aula con los instructores del taller de confecciones del Sena, para los cuales hay un cambio significativo en su esquema de trabajo, el cual han aprendido en su experiencia en la industria.

## 2.6 INSTALACIÓN Y MONTAJE:

Una vez creados el diseño de planos técnicos de los mecanismos mecánicos, planos eléctricos y electrónicos articulados a una banda transportadora, se integraron al sistema de producción, lo que facilitó la instalación de los equipos y máquinas de confección.

El ambiente lo conforman 12 puestos de trabajo ubicados alrededor de la banda, cada puesto de trabajo está dotado con máquinas, herramientas, balizas de señalización con tres colores: rojo, verde y amarillo, cada color indica el estado de las operaciones en los puestos de trabajo, además, se le integraron tres botones de control automático que miden los tiempos de producción y eficiencias de cada operario. El proceso productivo se ejecuta de acuerdo con un orden operacional y tiempo de producción definido en una ficha técnica de la prenda a fabricar.

## 2.7 VALIDACIÓN DE AMBIENTE DE FORMACIÓN:

Para la validación del ambiente semiautomatizado para la enseñanza y aprendizaje de conceptos de producción aplicados a la industria de confecciones, se realizaron las siguientes actividades (Figura 4): se identificó un grupo de aprendices con su respectivo instructor a quien se le capacitó y entrenó en el manejo del sistema de la banda transportadora; se construyó de acuerdo con el producto, la ficha técnica con sus respectivos procesos productivos y tiempos, los cuales fueron registrados en el sistema que opera la banda, de tal forma que, con esta información, el sistema operativo de la banda permitiera llevar el control de la producción en tiempo real y registrara la información del proceso productivo, por cada uno de los puestos de trabajo, donde los aprendices operarios cada vez que termina una operación pulsan los botones de control que identifica los tiempos reales de producción, cumpliendo así los principios básicos de la manufactura esbelta.

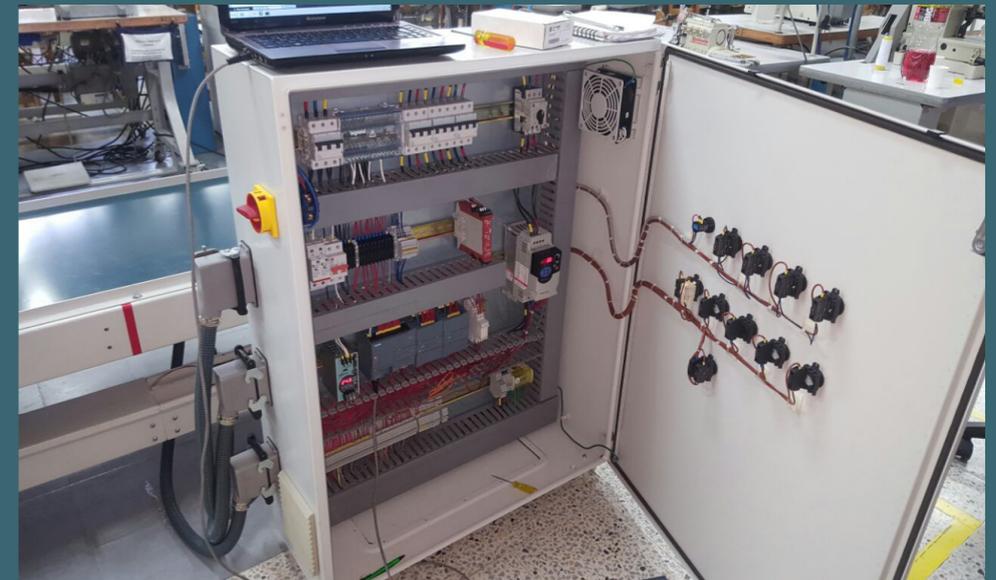


Figura.4. Banda transportadora, Tablero de control y Aula Semiautomatizada implementada

En el ambiente semiautomatizado para la enseñanza y aprendizaje, se utilizan conceptos del campo de la Automatización y la ingeniería industrial. La banda, para el control de movimiento, cuenta con un sistema PLC (Controlador Lógico Programable) el cual es un dispositivo cerebro electrónico tal como un computador, de uso industrial, que permite leer sensores y activar actuadores. En este caso, los sensores son botones pulsadores, los cuales son de dos tipos: uno verde de un solo contacto, normalmente abierto, que una vez presionado lleva una señal al PLC, y el otro es un botón de paro de emergencia rojo tipo hongo, con dos contactos, uno normalmente cerrado para desenergizar el variador de velocidad y el otro normalmente abierto para informar al PLC. Los PLC almacenan en memoria un programa que determina el funcionamiento del sistema. El sistema cuenta con un sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), el cual permite supervisar y controlar procesos industriales, a través de un software y drivers, que permiten leer las variables internas almacenadas en un PLC y dispositivos de campo, en tiempo real, para poder gestionar un sistema productivo.

El esquema de funcionamiento del sistema, en cuanto a producción, es un sistema sincrónico tipo FIFO (*First input, first output*) en una cola de trabajo, es decir, el movimiento se sincroniza con la acción de los sensores que, en este caso, son botones en cada estación. No hay movimientos que se hagan según lapsos de tiempo, sino que dependen netamente de la acción del operario en los botones. Existen sistemas de producción en línea sin ese tipo de sincronización, donde el producto avanza a una velocidad constante y el operario se tiene que acomodar al lapso de tiempo en el que pasa el producto, es el caso de las ensambladoras de motos, donde la moto avanza continuamente pero el operario se tiene que mover a medida que la moto avanza, y cuando termina, se debe regresar para encontrar la moto siguiente.

El ambiente diseñado es un modelo innovador que parte de aplicar técnicas de movimiento y manejo de materiales tomado de otras industrias, como la de ensamble electrónico y automotriz. En la industria de la confección, se aplican variantes que permiten adquirir información de tiempos de trabajo y mantenimiento en cada estación en tiempo real, tener los tiempos de espera de cada operación y desplegar dicha información en pantalla gigante mediante software SCADA, para que los aprendices de una manera lúdica, mejoren su desempeño en la operación de equipos de confección, y a su vez, comprendan las problemáticas y teorías aplicables de manufactura esbelta a ser implementadas como prácticas en el aula laboratorio.

El sistema diseñado permite el transporte de la prenda entre las diferentes estaciones de trabajo (máquinas) permitiendo el control de transporte uno a uno entre las operaciones. Su funcionamiento requiere una distribución de las máquinas de forma lineal e intercalada.

Después de la etapa de definición de requerimientos del aula semiautomática, se llegó a la conclusión de que al ser el aula parte del taller de confecciones del Sena, se debe poder fabricar cualquier tipo de prenda allí, por tanto, uno de los requerimientos principales es la flexibilidad. La banda permite que se pueda poner cualquier tipo de máquina de confección junto a ella. Las máquinas son de múltiples tipos, pero se reconocen fácilmente cinco tipos como son: Plana, Fileteadora, Recubridora, Ojaladora y Botonadora. Se tiene la posibilidad de poner cualquier mezcla de máquinas, en cualquier orden, para cumplir con las operaciones para armar cada prenda. Adicionalmente, las máquinas son alimentadas con suministro monofásico a 110V o a 220V bifásico o trifásico, según la marca y motor usado. La banda cuenta con tomas para cualquier configuración. En las ocho estaciones disponibles para máquinas hay suministro de aire comprimido para la que lo requiera en cualquier uso.

Otro requerimiento de flexibilidad es que se pueda trabajar de pie o sentado, por lo que las bases de la banda construida permiten seleccionar alturas entre 40 y 90 cm. La forma de operar la línea consiste en que sobre la banda se colocan las prendas, estas van avanzando de estación en estación. Por motivos del tamaño de las máquinas de coser, de espacio en el taller y los espacios para los operarios, se llegó a la conclusión de que la banda debía tener seis metros de largo, con diez estaciones de trabajo separados cada 60 cm, de las cuales el primer puesto es de aprovisionamiento de insumos y materia prima requeridos para la prenda, y el último puesto es de empaque y control de calidad, y cualquier producto que se realizará en el aula debería hacerse en los otros ocho puestos restantes con diferentes máquinas.

En cada estación, se toman los materiales, se realiza la operación y se retorna el elemento semielaborado a la banda, y con un botón verde en la estación, se informa al sistema que se ha completado la operación. Cuando todas las estaciones confirman que han finalizado su operación, la banda avanza un paso. El aula diseñada se vale de sistemas luminosos de baliza, los cuales permiten la comunicación entre operarios y personal de mantenimiento o supervisores. En cada puesto hay una señal luminosa tipo semáforo, roja, amarilla y verde, la cual indica el estado de esa operación. El verde anuncia que la operación está lista y ha sido concluida, y por lo tanto, la banda tiene permiso por parte de dicha estación para avanzar. Cada vez que la banda avanza un paso, las luces retornan amarillo, de esta forma se logra un flujo sincronizado. Para avanzar, todas las luces deben estar en verde simultáneamente. Cuando queda solo una luz amarilla, y ésta permanece mucho tiempo encendida, se le está indicando al supervisor que esa estación está pendiente por terminar su operación y es un posible

cuello de botella, y así se pueden ver las deficiencias en el balanceo de asignación de cargas de trabajo. Este sistema de control de movimiento y flujo de producción, requiere de un buen balance de las cargas de trabajo, condicionado a un ritmo de producción autorregulado. Al tener un aula flexible, se pueden hacer cambios rápidos con técnicas SMED para cambios de referencia. Mediante una herramienta TIC se hace el balanceo de cargas y se compara con lo evidenciado en el aula semiautomática.

La luz roja se enciende cuando un operario presiona el botón de paro de emergencia. Estos botones están conectados a un Relay de paro de emergencias que deshabilita el variador de velocidad e informa al PLC en qué estación se produjo el paro de emergencia. En este caso, un mecánico o un supervisor deben atender al llamado, y confirmar la solución al problema oprimiendo un botón en el gabinete de control.

## 04 CONCLUSIONES

**E**n un proyecto de desarrollo e innovación, se logró realizar el aula semiautomática acorde a los requisitos, limitantes, cronograma, y requerimientos de los clientes, como el supervisor del taller y la seguridad de los operarios. El proyecto desarrollado tiene un alto impacto e innovación en procesos técnicos y tecnológicos aplicados en la formación para el trabajo, donde se logran integrar tecnologías de otros sectores industriales a procesos de producción en confecciones, permitiendo así que los aprendices logren interactuar en procesos de enseñanza-aprendizaje significativos para el mercado laboral.

El modelo de ambiente permite una mayor gestión visual del proceso productivo porque valida los balanceos y asignación de cargas de trabajo programadas, con la operación en tiempo real de la planta de producción, lo que facilita hacer cambios rápidos en la línea de producción, reprogramar el proceso o entrenar al aprendiz más lento del proceso productivo; facilitando así, el proceso de aprendizaje de cada aprendiz de manera autónoma y su entrenamiento e importancia para el equipo de trabajo.

En pruebas preliminares, se evidencia que se puede mejorar la productividad (determinada como la cantidad de prendas realizadas en un determinado intervalo de tiempo, ya sea en minutos o en horas), usando el método de producción sincrónica y transporte con banda transportadora de material en proceso, supeditado a la calidad del balanceo realizado de cargas de trabajo de los operarios. Todavía no se puede validar

la segunda hipótesis, donde se propone que un operario capacitado en un entorno de aula semiautomática impactará la industria positivamente en cuanto a productividad, esto se medirá cuando los operarios terminen su formación y hagan parte de la industria.

Se evidencia dificultad para los instructores, ya que se cambia el paradigma de producción donde no hace falta, según la teoría de restricciones, tener que mantener ocupados a los operarios, sino que es más importante apoyar al cuello de botella y balancear lo mejor posibles las cargas. Al mantener los operarios ocupados, acontecen situaciones donde se viola el sentido de flujo del material y se tiene diferente cantidad de productos en las estaciones, contrario al funcionamiento normal del modelo de producción en línea, haciendo que los datos registrados no correspondan a la realidad.

A medida que pasa el tiempo, hay un mejor entendimiento y la línea se hace más eficiente, moviéndose sincronizadamente con las operaciones realizadas en los puestos juntos.

El PLC usado muestra un funcionamiento robusto y seguro.

El desarrollo estuvo limitado por el presupuesto, pero se pudieron lograr los requerimientos completos. Una dificultad se encuentra en el factor humano que presenta resistencia al cambio, por lo que en el uso posterior del sistema se debe hacer un trabajo y ejercicio de educación y concientización con los involucrados y usuarios, invitándolos a romper paradigmas con apertura de mente, para que experimenten y puedan ver lo pros y contras del nuevo sistema de una manera objetiva, involucrándose más en el cambio y aportando información de evaluación constante.

## 05 AGRADECIMIENTOS

Se expresa agradecimientos a la subdirección, al coordinador académico Gustavo Carvajal, a los instructores técnicos del Centro de Formación en Diseño, Confección y Moda, al grupo de Investigación INAMOD, a los empresarios que participaron en los procesos de construcción y consolidación de la estrategia, y a la Dirección de SENNOVA por la financiación del proyecto.

## 06 REFERENCIAS

- [1] L. Pineda Serna en M. Jara, “Prospectiva y vigilancia tecnológica en la cadena fibra-textil-confecciones. Mapa tecnológico estratégico, nuevos escenarios para el futuro de la cadena productiva fibra textil confección de Colombia”, 2010. Recuperado de: <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/11057/Prospectiva%20y%20vigilancia.pdf?sequence=1>
- [2] W. A. Sarache Castro, O. D. Castrillón, en J. A. Giraldo, “Prioridades competitivas para la industria de la confección: estudio de caso”, Cuadernos de administración, vol 24, no 43, bll 89–110, 2011. recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cadm/v24n43/v24n43a05.pdf>
- [3] B. Mac Master, I. Restrepo, “Estrategia para una nueva industrialización, Cámara Textil-ANDI”, 2015, recuperado de <http://www.andi.com.co/Asamblea/Documents/Libro/Estrategia%20para%20una%20nueva%20industrializacion.pdf>
- [4] F. Reyes Villamizar, J.A. Duque, N.P. Cáceres Vargas, N.M. Cubillos Castaño, “Desempeño del sector Textil-confección 2012-2014 Informe 2015”, Superintendencia de sociedades, 2015, recuperado de <https://www.supersociedades.gov.co/Historial%20de%20Noticias/2015/Septiembre/EE1-%20Sector%20Textil-%202015%20VIII%2014.pdf>
- [5] L.G. Vélez, E.F. Rodríguez, M.T. Camacho, N.M. Cubillos, “Informe desempeño del sector textil confección 2008-2012.” Superintendencia de sociedades, Bogotá, Colombia, 2013 Consultado en diciembre 1, 2016, de <http://www.supersociedades.gov.co/Documents/Informe-Sector-Textil-Oct152013.pdf>
- [6] “Caracterización de las microempresas de Medellín y del valle de Aburra que fueron cerradas en el período 2018-2019”, Investigación CEM/2020, Centro de estudios de la empresa Micro, Cámara de comercio de Medellín, 2020, recuperado de [file:///C:/Users/jcock/Downloads/Cartilla\\_CEM2020\\_VF.pdf](file:///C:/Users/jcock/Downloads/Cartilla_CEM2020_VF.pdf)
- [7] Consumer Knowledge Group, “¿Que fue del gasto del 2020?”, Microeconomic Outlook, Raddar.net, 2021, recuperado de: <https://raddar.net/wp-content/uploads/2021/01/Microeconomic-outlook-Cierre-2020.pdf>
- [8] DANE, “Encuesta Anual Manufacturera (EAM), 2019”, Boletín Técnico, 2020, recuperado de: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/eam/boletin\\_eam\\_2019.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/eam/boletin_eam_2019.pdf)
- [9] “Sector textil exige atención inmediata y presenta agenda al Gobierno”, Semana, ago 2020, recuperado de <https://www.semana.com/pais/articulo/sector-manufacturero-exige-atencion-inmediata-del-gobierno-colombiano/295980/>
- [10] Lopera. O, “Análisis de la madurez de la automatización en el sector textil confección en Colombia”, Trabajo de grado, Universidad de Antioquia, 2021, recuperado de [http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/20704/1/LoperaOlga\\_2021\\_\\_AnalisisMadurezAutomatizacion.pdf](http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/20704/1/LoperaOlga_2021__AnalisisMadurezAutomatizacion.pdf)
- [11] A. G. Martí en M. C. Villalba, “TIC en la enseñanza de las Ciencias Experimentales”, Comunicación y pedagogía: Nuevas tecnologías y recursos didácticos, no 190, pag 39–44, 2003.
- [12] N. Barrera Lombana, “Use of Educational Robotics as a Teaching Strategy in the Classroom”, Praxis & Saber, vol 6, no 11, pag 215–234, 2015.
- [13] W. Bolton, Mecatrónica: Sistemas de control electrónico en ingeniería mecatrónica. Marcombo, 2002.
- [14] M. G. Kay, “Material Handling Equipment. Fitts Dept. of Industrial and Systems Engineering”, North Carolina State University, 2012, Consultado en diciembre 1, 2016, [http://www.ise.ncsu.edu/kay/Material\\_Handling\\_Equipment.pdf](http://www.ise.ncsu.edu/kay/Material_Handling_Equipment.pdf)
- [15] Boyer, S. A. “SCADA: supervisory control and data acquisition”, International Society of Automation, 2009.
- [16] Disposiciones para la implementación del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo, Decreto 1443 de 2014, Consultado en diciembre 1, 2016, recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=58841>
- [17] “Diseño antropométrico de puestos de trabajo, protocolo, Laboratorio de condiciones de trabajo.”, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Facultad de ingeniería industrial, Laboratorio de producción, 2009
- [18] “Norma NTC 5831, Requisitos ergonómicos para trabajos de oficina con videoterminal (vdt) (monitores). Parte 5: concepción del puesto de trabajo y exigencias posturales”, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, 2010