TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO REGIÓN CARBONÍFERA

DEPARTAMENTO DE POSGRADO

"SISTEMA A PRUEBA DE ERROR PARA LA COSTURA DE UN COMPONENTE DE LAS CUBIERTAS DE ASIENTO EN LA INDUSTRIA TEXTIL AUTOMOTRIZ"

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRESENTA:

JUAN FRANCISCO LUNA MURILLO

DIRECTOR DE TESIS:

HUGO ALFREDO CARRILLO SERRANO

CO-DIRECTOR DE TESIS:

PERLA MAYARA ALCALA GONZALEZ

SABINAS, COAHUILA, MÉXICO, SEPTIEMBRE 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DE LA TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRIA

Ing. Juan Francisco Luna Murillo

Estudiante del programa de **Maestría en Ingeniería Industrial** del **Tecnológico Nacional de México Región Carbonífera**, autor de la Tesis, presentada para la obtención de grado de **Maestro en Ingeniería Industrial**:

"Sistema a prueba de error para la costura de un componente de las cubiertas de asiento en la industria textil automotriz"

Realizada bajo la dirección del Dr. Hugo Alfredo Carrillo Serrano.

Declaro que:

La tesis presentada es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros. Igualmente asumo, ante el Tecnológico Nacional de México y ante cualquier otra instancia, la responsabilidad que pudiera derivarse en caso de plagio de contenidos en la tesis presentada, conforme al ordenamiento jurídico vigente.

Agujita Coahuila, a 2 de septiembre de 2024

Juan Francisco Luna Murillo

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

TECNM CAMPUS REGIÓN CARBONÍFERA

CARTA DE AUTORIZACIÓN Y ORIGINALIDAD

Agujita, Coah., a 21 de septiembre de 2024

M.I.I ABELARDO BUENTELLO DUQUE
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE POSGRADO

La presente es para informarle que el C. **Juan Francisco Luna Murillo** con número de control **221DM020** alumno del Programa de **Maestría en ingeniería Industrial** ha concluido la redacción de su trabajo de **Tesis** titulado:

Sistema a prueba de error para la costura de un componente de las cubiertas de asiento en la industria textil automotriz

La cual personalmente he revisado su originalidad, por lo que, autorizo su liberación y pido a usted sea tan amable de asignar los miembros del jurado revisor.

Sin otro particular por el momento, quedo de usted.

ATENTAMENTE

Dr. Hugo Alfredo Carrillo Serrano
Director de Tesis

TECNOLOGICO NACIONAL DE MEXICO

TECNM CAMPUS REGIÓN CARBONÍFERA

LIBERACIÓN DE TESIS POR EL COMITÉ TUTORIAL

Agujita, Coah., a 26 de septiembre de 2024

MAyL. ELSA GEORGINA DE LEÓN TREJO
SUBDIRECTORA DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

AT´N.: M.I. ABELARDO BUENTELLO DUQUE
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE POSGRADO

De acuerdo a la convocatoria interna de Registro de Propuestas de Proyectos de Investigación realizada por la Subdirección de Posgrado e Investigación a fin de aprobar la sustentación de **Tesis** titulada:

"SISTEMA A PRUEBA DE ERROR PARA LA COSTURA DE UN COMPONENTE DE LAS CUBIERTAS DE ASIENTO EN LA INDUSTRIA TEXTIL AUTOMOTRIZ"

Presentado por el(la) pasante C. **Juan Francisco Luna Murillo** con número de control **221DM020** alumno(a) del Programa de **Maestría en Ingeniería Industrial** que ofrece nuestro Instituto.
Hacemos de su conocimiento que éste jurado ha tenido a bien autorizar la sustentación de dicha tesis para los efectos consiguientes.

Sin otro particular por el momento, quedo de usted.

ATENTAMENTE

Dr. Hugo Alfredo Carrillo Serrano
Presidente

M.A. Perla Mayara Alcalá González
Secretario

M.P. Guadalupe Esmeralda Alcalá González
Vocal

M.P. Verónica Rangel Medina
Vocal suplente

INSTITUTO TECNOLOGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE LA REGIÓN CARBONÍFERA DEPTO DE POSGRADO

Dedicatoria

Dedico esta tesis principalmente a mi esposa Valeria por ser incondicional, perseverante, y mi fuente de motivación y apoyo, mi gran amiga que con su amor me ayudó a poder realizar mis estudios de posgrado mientras ejercía mis labores de docente; siempre estuviste ahí, gracias por todo.

A mi niño Carlos Francisco que llegaste hace un año a ser parte del combustible que necesitaba para seguir firme en mis actividades, esto es para ti también.

También dedico esta tesis a mis padres María Leticia y Juan Francisco que gracias a los estudios y valores que me brindaron, soy lo que soy gracias a ustedes.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento al director de esta tesis, Dr. Hugo Carrillo, por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por sus consejos personales y académicos me ayudaron a generar este trabajo, por encaminarme adecuadamente. Gracias por la confianza desde que inicié mi tesis.

Así mismo, agradezco a mi co – directora de tesis M.A. Perla Alcalá que con su gran experiencia y conocimiento en el tema de tesis pude profundizar mucho mejor al desarrollo de la misma.

Un trabajo de investigación es siempre fruto de ideas, proyectos y esfuerzos previos que corresponden a otras personas. En este caso mi mas sincero agradecimiento a Pedro Rocha, Adrián Guajardo, Edgar González y Uriel Romo quienes con su colaboración fueron clave importante en el desarrollo del pilar de este trabajo.

Gracias a mi esposa por su incansable apoyo, a mis padres, mis suegros y mis hermanos que me brindaron un aliento de apoyo de alguna manera.

Finalmente, agradezco al TecNM Región Carbonífera, mi alma matter, mi lugar de trabajo, que me brindaron grandes conocimientos por medio de mis profesores de licenciatura y ahora con mis profesores de maestría. Agradezco por brindarme las facilidades y apoyo económico para realizar mis estudios de posgrado, gracias mi querido ITESRC.

A todos, ¡muchas gracias!

Resumen

Los retenedores son componentes fundamentales que conforman las cubiertas de asientos en las industrias manufactureras automotrices. Durante la fabricación de estas cubiertas, se cuenta con distintos procesos de verificación de calidad. La presente tesis tiene como objetivo detectar errores de ensamble en la costura de un modelo específico con características de adaptabilidad para otros modelos. Para lograr esto, se implementaron técnicas de ingeniería de métodos y un dispositivo *Pokayoke*. La investigación se desarrolló utilizando un enfoque cualitativo que incluyó el análisis detallado de los procesos de costura actuales y la identificación de puntos críticos de error. El dispositivo *Pokayoke* se diseñó y probó específicamente para el ensamblaje del retenedor tipo J. Además, se realizaron pruebas comparativas antes y después de la implementación para evaluar la efectividad del dispositivo. Los resultados mostraron una alta eficiencia en la detección de errores gracias a la interconexión con la estación de costura con un dispositivo electrónico programable de autoría propia.

Palabras clave: Pokayoke, Retenedor, Ingeniería de métodos.

Abstract

Retainer are key components that make up seat covers in automotive manufacturing industries. During the manufacture of these covers, different quality verification processes are used. The present thesis aims to detect assembly errors in the seam of a specific model with adaptability characteristics for other models. To do this, methods engineering techniques and a device known in the industry as Pokayoke have been implemented.The research was developed using a qualitative approach which included a detailed analysis of current sewing processes and identification of critical points of error.The Pokayoke device was designed and tested specifically for the J-type retainer set. In addition, comparative tests were performed before and after application to assess the effectiveness of the device.The results showed a high efficiency in error detection due to intercommunication with the sewing station with an electronic programmable device of own authorship.

Keywords: Pokayoke, Retainer, Methods engineering.

Índice general

Índice de figuras vii

Índice de tablas viii

1. Introducción 1
1.1. Motivación . . . 1
1.2. Hipótesis . . . 3
1.3. Objetivos de la Tesis . . . 4
1.4. Alcances y limitaciones . . . 4
1.5. Estructura de la tesis . . . 4

2. Marco Teórico 7
2.1. Cubiertas de asientos automotrices . . . 7
2.2. Retenedor de cubierta de asiento . . . 9
2.3. Proceso de costura . . . 10
2.4. Sistema de producción de costura de cubiertas automotrices . . . 11
2.5. Costura de retenedor . . . 13
2.6. Sistema eléctrico de máquina de costura . . . 14
2.7. Errores en la costura de retenedor . . . 16
2.8. Herramientas de manufactura esbelta . . . 17
2.8.1. Muda . . . 17
2.8.2. Muri . . . 17
2.8.3. Mura . . . 17
2.8.4. Pokayoke . . . 18
2.8.5. Pokayokes en la industria textil automotriz . . . 18
2.9. Fallas de costura de retenedor en una empresa textil automotriz . . . 19

3. Sistema de control de costura 21
3.1. Análisis . . . 21
3.2. Diseño . . . 22
3.2.1. Guía de retenedor . . . 22
3.2.2. Circuito de control . . . 26
3.2.3. Programación y algoritmo de control . . . 27
3.2.4. Ensamblado . . . 30
3.3. Algoritmo . . . 32
3.4. Pruebas . . . 34
3.5. Implementación . . . 35

4. Conclusiones **39**
4.1. De la investigación 39
4.2. De la fabricación e implementación 40
4.3. Propiedad Industrial 41
4.4. Del trabajo futuro 41

5. Anexos **43**

Bibliografía **49**

Índice de figuras

2.1. Cubierta de asiento terminada y asiento ensamblado final que se instala en los automóviles. 8
2.2. Retenedor en su forma real modelo D721 o tipo J 9
2.3. Muestra de perfiles de retenedor modelos D721, D821 y D3110 y vista isométrica del tipo J. 10
2.4. Diagrama de proceso de costura nivel macro 11
2.5. Máquina de costura marca Juki con un pedal de dos posiciones, controlador marca mitsubishi en la parte inferior de la mesa. 12
2.6. Controlador de máquina de costura marca Mitsubishi en estructura para pruebas de señales de movimiento con indicadores visuales y botones de control. 13
2.7. Diagrama de proceso del ensamble de retenedor 14
2.8. Conectores del controlador de la máquina de costura 15
2.9. Esquema eléctrico del conector de máquina de costura del controlador Mitsubishi 16

3.1. *Fotografía del retenedor modelo D721 usado para las pruebas del dispositivo prueba y error. Vista lateral. Imagen: autoría propia* 23
3.2. Vista frontal de boceto de la base que conforma una ranura para la guía del retenedor con relieve de entrada. Imagen: autoría propia 23
3.3. Vista isométrica explosionada de la guía de retenedor, tarjetas de circuito impreso, conectores y elementos de sujeción. Imagen: autoría propia 24
3.4. Diseño final del sensor de presencia del retenedor y su conexión para el modulo. Diseño realizado en Solid Works. Imagen: autoría propia 25
3.5. Sensor de retenedor en su forma completa con retenedor fuera y retenedor insertado. Imagen: autoría propia 25
3.6. Circuito electrónico de acoplación de señales de puntada y corte de la máquina de costura al circuito de control. 26
3.7. Diagrama esquemático del circuito eléctrico de interconexión de los componentes electrónicos. Imagen: autoría propia 27
3.8. Diseño del circuito eléctrico de interconexión de los componentes electrónicos. Imagen: autoría propia 30

3.9. Tarjeta de circuito impreso (*PCB*) con sus componentes electrónicos ensamblados y soldados. Circuito eléctrico de construcción y autoría propia. Imagen: autoría propia 31
3.10. Vista perspectiva isométrica y explosionada del dispositivo procesador de señales. Imagen: autoría propia 32
3.11. Algoritmo de control diseñado e implementado en el microcontrolador del dispositivo. 33
3.12. Prototipo inicial del sensor de retenedor impreso en 3D ajustado a las características requeridas por el departamento de calidad de la empresa. Imagen: autoría propia 34
3.13. Pruebas iniciales de comunicación y validación del correcto funcionamiento del dispositivo de control en la maquina de la empresa. Imagen tomada de:cortesía Irving Jaropamex Sabinas. 35
3.14. Pruebas finales de la validación de parámetros establecidos en el sistema para el correcto funcionamiento del dispositivo de control en la maquina de la empresa. Imagen tomada de: cortesia Irving Jaropamex Sabinas. . . . 35
3.15. Prototipo actual del dispositivo a prueba de errores en el proceso de costura de retenedor desarrollado, con su correspondiente llave de activación. . . . 36
3.16. Vista posterior del prototipo actual del dispositivo donde se aprecian los conectores *DB9* y *M8 industrial*. 36
3.17. Prototipo de sensor de retenedor con el cual se hicieron las correspondientes pruebas de validación y funcionamiento del sistema. *Imagen: autoría propia.* 37
3.18. Sensor impreso en *3D* con el elemento retenedor introducido con precisión a través del perfil diseñado en el propio sensor. *Imagen: autoría propia.* . . 38

5.1. Código en C del algoritmo del modulo de control. Parte 1 44
5.2. Código en C del algoritmo del modulo de control. Parte 2 45
5.3. Código en C del algoritmo del modulo de control. Parte 3 46
5.4. Código en C del algoritmo del modulo de control. Parte 4 47

Índice de tablas

2.1. Velocidades configurables en la máquina de costura 16
2.2. Fallas de una empresa manufacturera de cubiertas de asiento en un periodo de 4 años desde el 2018 al 2022 19

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

La idea principal de esta tesis se centra en el diseño e implementación de un dispositivo que es utilizado como un método de corrección de errores que se utiliza en las empresas manufactureras dedicadas a la fabricación de cubiertas para asientos automotrices.

En los tiempos actuales, el trabajo en conjunto es clave para el progreso tecnológico. Una de las áreas encargadas de esto en las industrias manufactureras es el departamento de mejora continua, el cual a través de estudios de los procesos realizados dentro de las propias líneas de producción es capaz de detectar áreas de oportunidad para mejoras constantes en su proceso, véase Galloway, 2002.

Tal es el caso de las industrias manufactureras de cubiertas de asientos, las cuales, al contar con un proceso semi-artesanal son susceptibles a errores humanos, por tanto, es clave encontrar las causas raíz y buscar soluciones. Entre otras problemáticas detectadas, una que destaca es la relacionada con los retenedores de cubiertas de asientos en las lineas de producción.

Los retenedores son componentes fundamentales que conforman las cubiertas de asientos automotrices. Durante la fabricación de estas cubiertas, se cuenta con distintos procesos de verificación de calidad, pero la colocación adecuada de los retenedores es de suma importancia. Son los encargados de brindar la óptima sujeción entre las cubiertas y la estructura metálica de los asientos. La incorrecta colocación de estos componentes significa una pérdida de material y tiempo, ya que se deben retrabajar las piezas para alcanzar la meta de producción solicitada. Además, incurre en incumplimientos y en consecuencias como multas a la empresa aun tratándose de una sola pieza. Aunque se cuenta con distintos procesos de verificación de calidad, se tiene fallas en la detección de la adecuada colocación de los retenedores, puesto que son los encargados de brindar la sujeción necesaria para que las cubiertas queden fijas en la estructura metálica de los asientos; el incorrecto ensamble de estos dispositivos significa una pérdida de material y un desperdicio importante de tiempo ya que se deben retrabajar las piezas para alcanzar

la meta de producción establecida. A pesar de que los operadores de las máquinas de coser están debidamente capacitados, es imposible evitar errores humanos.

Ante esta situación y la necesidad de mejorar los procesos de fabricación de los cubreasientos y, sobre todo, de mejorar el sistema de calidad, se desarrolló el dispositivo *Poka pro*, que ayuda a los operadores a colocar los retenedores de manera adecuada para evitar así, los fallos. El dispositivo que se presenta en esta investigación mejora los procesos de producción y calidad en las industrias de fabricación de cubiertas de asientos, además de agilizar los tiempos que suelen invertirse en retrabajos o las pérdidas ocasionadas por mermas. Se encarga de verificar que se coloquen los retenedores con la forma y posición correcta antes de coser, de lo contrario, impiden el inicio del proceso de costura hasta que se verifique y/o se corrija el error. La patente *"Presser-control devices"* con número DE3528295C2 y fecha de publicación de 25/06/1987 ubicada en la base de datos de la DPMA (registro de la propiedad intelectual en Alemania) tiene como finalidad detectar mediante sensores optoelectrónicos el cambio de material durante el proceso de costura y de esta manera evitar errores, véase Braun, 1887, mientras que *Poka pro*, cuenta con un sensor que verifica que el material a trabajar y la posición sean correctos antes de ingresar al proceso de costura. Además de condicionar a la máquina para trabajar únicamente con el retenedor correspondiente.

Otra patente en la misma área de aplicación ubicada en la DPMA y que tiene un funcionamiento similar es la llamada *"Musternaeh Maschine"* con número de registro DE3704824A1 y fecha de publicación 14/11/1991. Véase Etsuzo, 2007. La diferencia con *Poka pro* es el material que verifica y su modo de hacerlo, mientras que *Musternaeh Maschine* únicamente verifica piezas de tela para coser patrones y que estos sean hechos de manera correcta, *Poka pro* verifica también los retenedores, los cuales irán cosidos posteriormente a la tela del cubreasiento. La patente *"Sewing process arrangement"* con número de registro EP0182281A1 y fecha de publicación de 03/10/1990 y ubicada en la European Patent Office menciona un dispositivo cuya funcionalidad es regular la velocidad de costura de varias máquinas de coser y de verificar que las piezas colocadas estén en la orientación correcta para su costura. Véase Hülshoff et al., 2005. Nuevamente la diferencia radica en que este dispositivo verifica piezas de tela. La patente *"Method and device for controlling the movement of a needle in a sewing machine"* con número de registro CN1894458B y fecha de publicación 04/09/2013 ubicada en European Patent Office detalla un dispositivo capaz de controlar la posición de la aguja basado en la altura de la pieza que se desea coser, además de controlar la costura dependiendo del componente a trabajar. Véase Zesch, 2004. Sin embargo el CN1894458B no dispone de un sensor diseñado específicamente para los retenedores y que bloquee la máquina cuando se comienza a coser de manera incorrecta. La patente *"Stitch forming element control using stepping motors which can be calibrated"* con número de registro US4191120A y fecha de publicación de 03/04/1980. Se basa en un sistema que controla mediante señales eléctricas el proceso de costura. Véase Bergvall, 1998. Este dispositivo tampoco cuenta con sensores de retenedor. *"Device for automatic braking electric sewing machine"* es una patente con

número de registro CN2189163Y y fecha de publicación de 08/02/1995. Este dispositivo frena automáticamente la máquina de coser cuando es apagada abruptamente para evitar errores de costura por fallos eléctricos. Véase Rongzhou, 2003. El sistema de seguridad no toma en cuenta ni el material ni los retenedores para bloqueos de maquina. Por último *Çontador de ciclos para máquina de costura"* se encuentra en el Sistema de Información de la Gaceta de la Propiedad Industrial (SIGA) del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) con número de expediente MX/a/2019/015436 realiza la cuenta de ciclos de costura interpretado como número de puntadas mediante la programación de un rango de las mismas asegura que la bobina inferior de hilo no se termine al momento de estar cosiendo una pieza, en caso que suceda, bloquea la máquina de costura por medio de señal eléctrica. Véase Martinez et al., 2019.

En términos generales los errores de ensamble del componente retenedor causa gran impacto en la empresa manufacturera principalmente porque los costos de re-trabajo, sobre todo los costos de sorteo del producto son elevados aproximadamente al costo del embarque, dejando nulas ganancias del mismo.

Se pretende mejorar la calidad de fabricación, un producto conforme es uno de los factores clave de éxito de las empresas y por lo tanto garantizar productos sin defectos entregados al cliente. Ha sido de mucha utilidad el interés de las industrias por resolver problemas de calidad en los procesos, lo cual facilita realizar pruebas y análisis para indagar más con lo que es debido realizar. En el presente trabajo se ha realizado un significativo avance desde realizar un exhaustivo análisis en los procesos donde se presenta la problemática identificada hasta el diseño, fabricación e implementación del sistema de control de costura para retenedor. Según el nivel de maduración tecnológica de la metodología "technology readiness level" Fast-Berglund et al., 2014 el proyecto alcanza un alto nivel, ya que se han realizado demostraciones físicas en una empresa del ramo en la Región Carbonífera, la cual brindó las facilidades para realizar investigaciones y análisis pertinentes para la mejora del proceso.

1.2. Hipótesis

Un sensor de presencia y una tarjeta de control electrónica con un algoritmo de programación adecuado puede conformar a un *pokayoke* efectivo para evitar errores generados en un proceso industrial de costura de un componente retenedor sobre una cubierta automotriz; el algoritmo de control permite o bloquea la acción de costura para detenerla a través de la lectura de presencia de retenedor y otras variables del proceso mismo.

1.3. Objetivos de la Tesis

En acuerdo a la problemática e hipótesis antes expuesta, nos enfocaremos en este trabajo de tesis en cumplir los siguientes objetivos:

Objetivo general
Desarrollar un sistema a prueba de error de la costura de un retenedor que las cubiertas de asientos conforman en su ensamblado por medio de la implementación de un sensor de retenedor y un dispositivo de control con algoritmo adecuado a la estación de subensamble.

Objetivos específicos

1. Analizar el funcionamiento de una estación de costura y los errores mas frecuentes.
2. Diseñar una herramienta de manufactura esbelta para detectar fallas en el proceso de costura de retenedor.
3. Fabricar el sistema a prueba de fallas para maquinas de costura de retenedor.
4. Implementar el sistema a prueba de fallas en la maquina de costura del componente retenedor.

1.4. Alcances y limitaciones

La investigación se centra principalmente en los procesos de costura de las industrias textil automotriz en dónde se requiere la verificación previa a ensamble de componentes plásticos. Se cuenta en laboratorio del ITESRC máquina de costura industrial de la línea Mitsubishi ® en donde se podrán realizar algunas pruebas de funcionamiento, así como convenios con empresas del ramo en la región lo cuál también permitirá generar pruebas en un módulo de producción importante para obtener resultados de datos reales.

Una limitación es la autorización de la empresa para permitan realizar pruebas, dado su limitado tiempo de paros programados.

1.5. Estructura de la tesis

- En el Capitulo 1 se muestran las intenciones en este trabajo de tesis, se describe brevemente la problemática, es decir, el marco conceptual y las posibles soluciones que se han aplicado en la industria. Además, se exponen la hipótesis, objetivos de investigación y los alcances del trabajo.

- En el Capítulo 2 se explican los preliminares y fundamento teóricos necesarios para abordar el tema principal de tesis de forma adecuada. Se incluye una descripción de los elementos relacionados con la costura de asientos automotrices y algunas definiciones propias de la industria especializada en este rubro. Luego, se aborda las descripciones técnicas de las maquinas de costura desde los elementos mecánicos hasta el sistema eléctrico y automático que las componen. Posteriormente se explican los errores mas usuales de las maquinas antes mencionadas, así como las formas de registro de producción. Finalmente, se describe de forma rápida las herramientas de manufactura esbelta relacionadas con los sistemas de calidad que vigilan la producción de cubre asientos en las industrias automotrices.

- El Capitulo 3 esta dedicado a la descripción del sistema de control de costura propuesto, considerado como la parte principal de esta tesis. Primero, definimos las características principales de los sistemas Pokayoke ya que son las características deseadas en nuestro sistema. Se describen las etapas de la puesta en marcha, comenzando con el análisis de las variables y de la solución problemática a atacar, luego presentamos el diseño de cada uno de los componentes, la fabricación, el algoritmo de operación, las pruebas en laboratorio y finalmente la implementación (prueba industrial).

- Finalmente en el Capitulo 4 se incluye una reseña de los registros de fallas y problemáticas causadas por la falta de sistemas como el propuesto. Por supuesto las conclusiones del trabajo de tesis y trabajo futuro también se agregaron.

.

Capítulo 2

Marco Teórico

Antes de explicar el sistema de control de costura convienen describir algunos preliminares y términos propios de la industria relacionada con los cubre asientos. En seguida daremos una breve descripción de los términos, conceptos y sistemas que creemos son esenciales para esta investigación.

2.1. Cubiertas de asientos automotrices

Las cubiertas de asientos automotrices fabricadas para las diferentes líneas o marcas llevan consigo diversas partes ensambladas en sí, como lo son: cortes de telas, vini-piel y/o piel; en cuestión de textiles, así mismo contienen componentes que requieren para distintos propósitos en su uso, como el velcro y otros elementos plásticos para retener o ensamblar la cubierta en la estructura metálica del asiento. En la figura 2.1; *(a)* muestra una cubierta automotríz de cierto modelo, se aprecia los distintos cortes implementados, costuras y algunos elementos. Con la sección Si se presta atención, el componente retenedor en color negro se presenta instalado en distintos puntos a lo largo del borde de la cubierta. Y de la *(a)* se muestra la cubierta instalada en el almohadón del asiento y en su estructura metálica, mismo que se utiliza en el proceso final de ensamble de un automóvil.

(a) Cubierta automotriz de almohadón sin ensamblar en asiento

(b) Asiento con cubiertas ensamblado

Figura 2.1: Cubierta de asiento terminada y asiento ensamblado final que se instala en los automóviles.

Fuente: Autoría propia

2.2. Retenedor de cubierta de asiento

El retenedor (figura 2.2) es un componente de polipropileno el cuál realiza una función muy importante en el ensamble de una cubierta con la estructura del asiento automotriz. Éste sujeta o retiene (*por eso su nombre*) la cubierta textil a la estructura del asiento al momento de su ensamble. Usualmente se coloca en los bordes de las cubiertas de tal manera que sujete ambas partes (*metal - cubierta*) de forma segura, discreta y permita una posible sustitución o reparación. En las figuras 2.3 se muestran algunos ejemplos de retenedores y sus dimensiones reales del perfil transversal (figura 2.3 (a)), la longitud varia acorde a la posición en el cubre asiento. La parte plana es la que se une con el borde del cubre asiento (*cosido*) y el gancho es para sujetase a las lineas metálicas de la estructura(figura 2.3 (b)). Debemos aclara que manejan otros tipos de retenedores pero no son de interés para esta tesis.

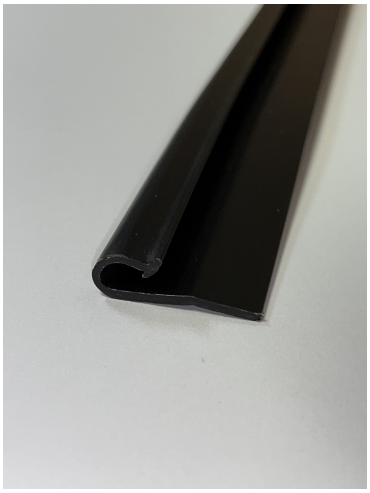
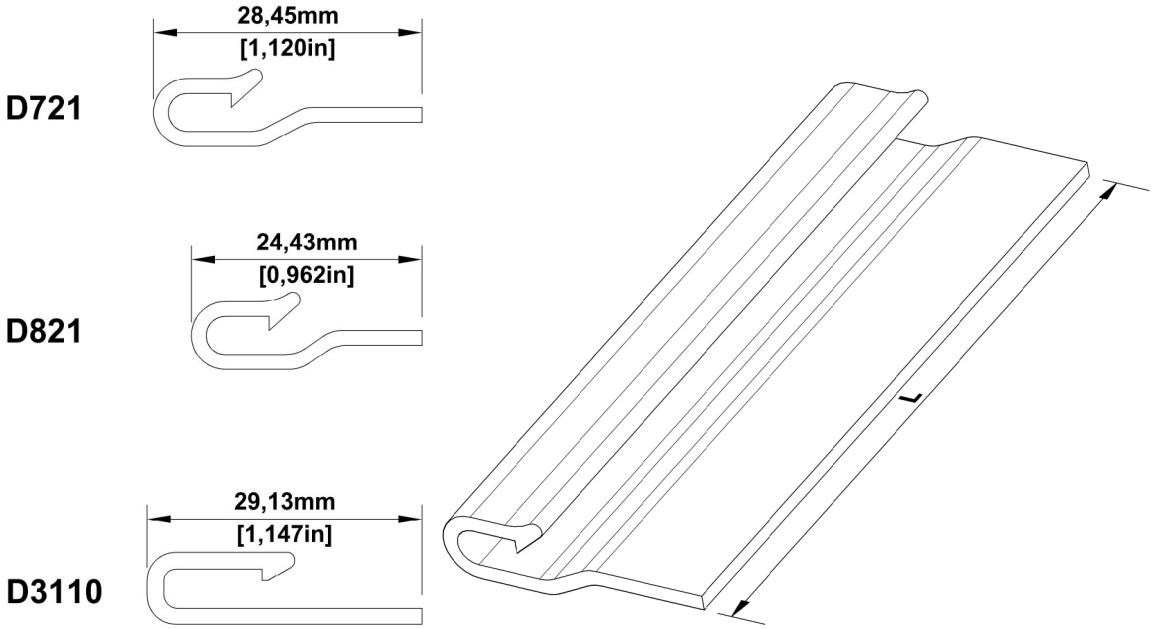


Figura 2.2: Retenedor en su forma real modelo D721 o tipo J

La parte en forma de gancho del retenedor es la que realiza la función de sujetarse y enclavarse en la estructura metálica y una vez que se ensambla con la estructura se requiere herramienta y una maniobra especial a cargo del obrero. Un detalle importante es que la falta de un retenedor o tipo incorrecto genera problemas muy serios en la producción, y es precisamente donde este trabajo es enfocado, es decir, evitar este tipo de fallas.



(a) Algunos modelos de perfiles de retenedor utilizados.

(b) Vista isométrica de retenedor tipo J con longitud L acotada.

Figura 2.3: Muestra de perfiles de retenedor modelos D721, D821 y D3110 y vista isométrica del tipo J.

Autoría propia obtenido de Geminis-Plastics-Inc., 2004

2.3. Proceso de costura

Existen diversos conceptos sobre los procesos de costura y dependen totalmente del campo de aplicación, productos de vestimenta como pantalones, camisas, playeras, pantalones cortos, etc., automotriz, por ejemplo, bolsas de aire, tapizado de techo y principalmente los asientos. Munar et al., 2014 definen a un proceso típico de costura como el ensamble de piezas cortadas en donde se consideran una serie de operaciones aplicando el uso de distintos tipos de maquinas de costura. El proceso inicia en una área de corte de patrones y formas para cada asiento, luego son enviados a un sistema de recepción y distribución a las distintas estaciones preestablecidas. Enseguida se realiza el proceso de costura entre vinilos, protectores, almohadillas, sujetadores y aditamentos necesarios. Seguido de un proceso riguroso de inspección no solo de la colocación y/o sujeción sino también del retenedor correcto. Finalmente se envían a despacho. Véase la figura 2.4.

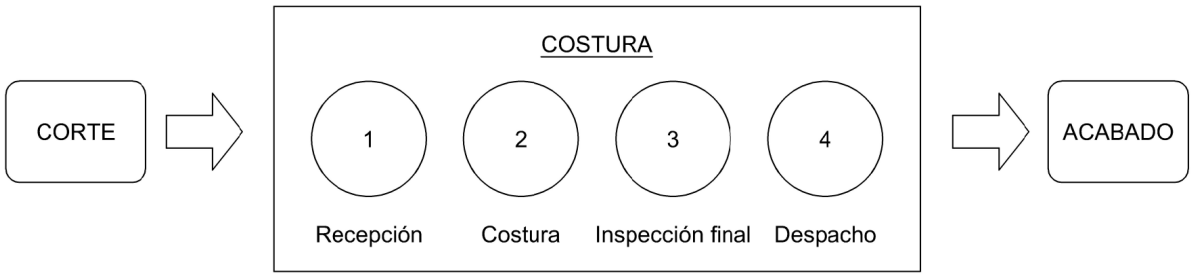


Figura 2.4: Diagrama de proceso de costura nivel macro

Fuente: Autoría propia obtenido de Munar et al.

2.4. Sistema de producción de costura de cubiertas automotrices

Los sistemas de producción de costura en general, se modelan en 3 tipos según Munar et al., *prenda completa, por proceso, en línea o modular*; esto se ha corrobora al visitar una planta de manufactura. Esta investigación se centra en analizar un tipo de proceso modular del sector automotríz, en el cuál, un módulo se refiere a n cantidad de máquinas de costura que se dedican a un sub-ensamble o ensamble del producto final de cubierta, es como una línea de producción separada en bloques. A las máquinas de costura figura 2.1, que conforman este módulo se les conoce como estaciones de trabajo, en la cuál se cuenta con una máquina de costura automática en dónde el proceso de alimentación de los materiales a costurar es manual. Se cuenta con un pedal que tiene 2 funciones solamente, costurar lo cual genera puntadas al pisar el pedal hacia adelante y corte de hilo al pisar el pedal hacia atrás; esto es controlado por un "driver" de costura. En esta máquina de costura es de gran interés las funciones que realiza. Se considerarán solamente la función de puntada (*costura*), y corte de hilo, señales eléctricas como: permiso de movimiento (de puntada y corte), señal eléctrica de puntada y señal eléctrica de corte de hilo. La acción de costura o el movimiento vertical de la aguja es comandado por un servomotor controlado por una tarjeta electrónica, en esta tarjeta electrónica se puede intervenir eléctricamente para dar o no el permiso de movimiento de esto. Así mismo, se pueden leer señales de voltaje cada que realiza una puntada en costura y cada que realiza un corte de hilo.

Figura 2.5: Máquina de costura marca Juki con un pedal de dos posiciones, controlador marca mitsubishi en la parte inferior de la mesa.

(*Fuente: Autoría propia*)

Es importante prestar atención en el controlador de máquina de costura. Es un sistema complejo el cuál, por medio de la rotación de un servomotor y un mecanismo en la mesa de costura se encarga de generar los movimientos lineales para la acción de costura. Se utiliza servo motor para asegurar la presición de puntada en cantidad y velocidad. Este controlador puede llegar hasta 3000 rpm según el manual del fabricante Mitsubishi-Electric-Corporation, y es configurable en distintos parámetros de los ya mencionados. El control del numero de puntadas, lecturas de señales y paros de emergencia se hacen a través de este mecanismo. En la figura 2.6 se muestra el controlador de máquina postrado sobre una estructura metálica para efectos de pruebas de laboratorio.

Figura 2.6: Controlador de máquina de costura marca Mitsubishi en estructura para pruebas de señales de movimiento con indicadores visuales y botones de control.

El diagrama eléctrico del fabricante donde se indican los puntos de conexión para obtener la señales de la interconexión se puede consultar en el manual de instrucciones del controlador de máquina de costura Mitsubishi Electric Mitsubishi-Electric-Corporation, 2015.

2.5. Costura de retenedor

La costura de retenedor se lleva a cabo en una estación de costura especial para el retenedor. El diagrama de este proceso se muestra en la diagrama figura 2.7.

1. **Costura inicial:** se trata de una serie de entre 5 y 10 puntadas con las cuales se costura la pieza de tela junto con el componente retenedor.

2. **Costura completa:** se trata de la costura entre la pieza y el retenedor totalmente justo antes del remachado y la cantidad de puntadas varía por la longitud del retenedor.

3. **Costura final:** se trata de nuevamente una serie de puntadas para sellar la costura y ronda entre 5 y 15 puntadas según el material textil.

4. **Corte:** El corte de hilo se realiza presionando el pedal como se indicó anteriormente, y la máquina de costura automaticamente genera de 3 a 4 puntadas y luego corta el hilo

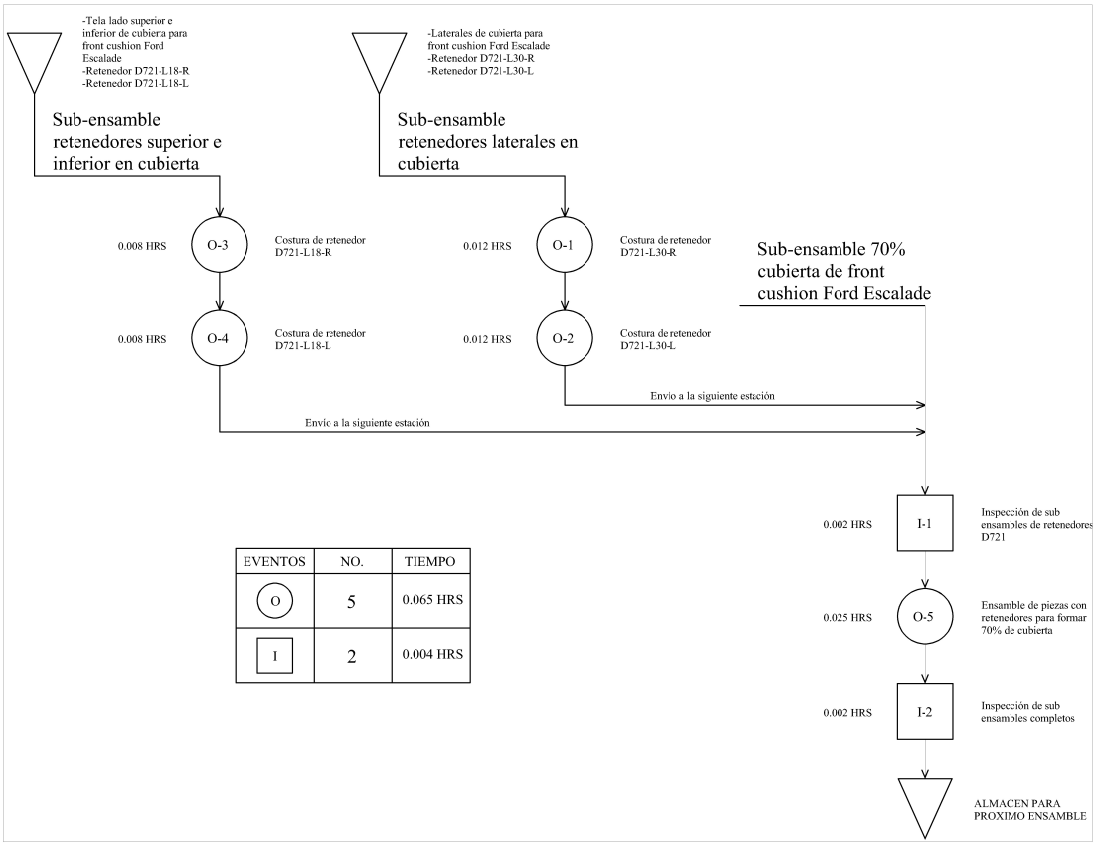
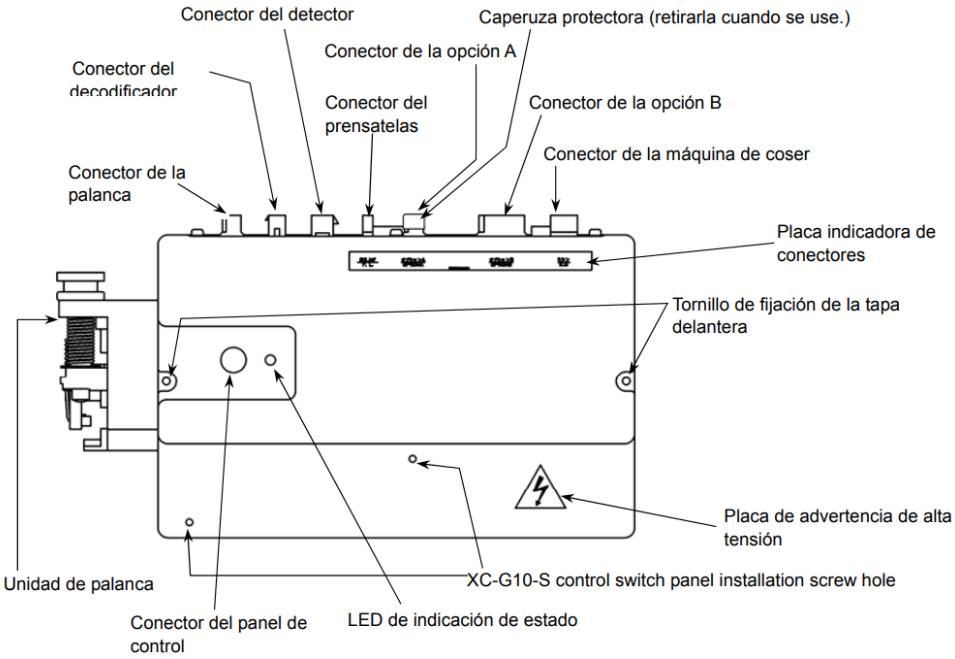


Figura 2.7: Diagrama de proceso del ensamble de retenedor

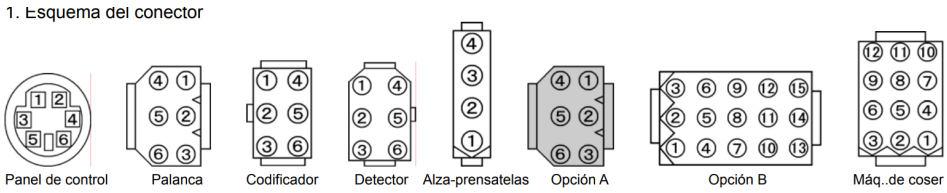
Fuente: Autoría propia.

2.6. Sistema eléctrico de máquina de costura

Es importante describir el sistema eléctrico del controlador de la máquina de costura ya que éste nos permitirá leer y manipular señales para el control de costura. En la figura 2.8 *(a)* se muestra un esquema en vista frontal del servocontrolador, en la parte superior se aprecian los conectores eléctricos de entradas y salidas de señales, de estos nos interesa particularmente el *Conector de la máquina de coser*. En la figura 2.8 *(b)* se puede ver el código de los puntos de interconexión. La tabla descriptiva de tal código se describe en la figura 2.9.



(a) Parte delantera de la caja de control

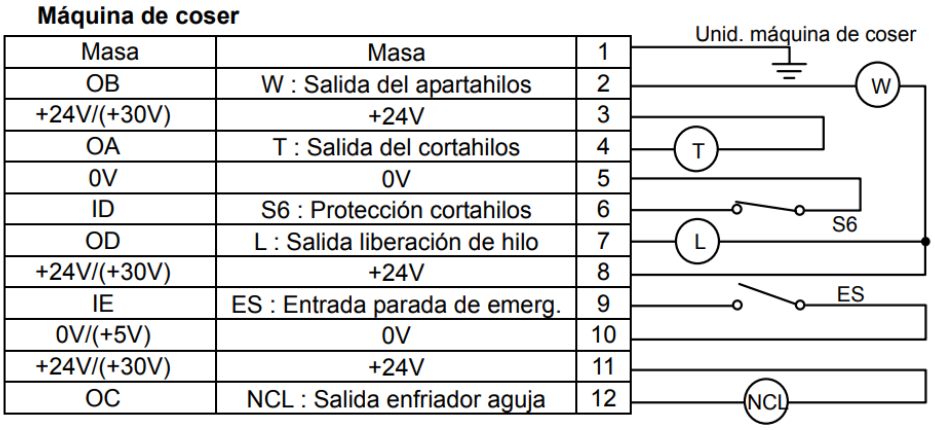


(b) Esquema de conectores

Figura 2.8: Conectores del controlador de la máquina de costura

Fuente: Obtenido de Mitsubishi Electric

Para el sistema de control, nos interesa la señal de salida en el punto de conexión 3, 11, 4 y 12, la señal de referencia de corte de hilo ($24v$), las señales de referencia de puntada ($24v$), señal de salida de corte de hilo, y la señal de salida de puntada, respectivamente. También es de interés los puntos de conexión 10 al 9, la referencia ($0v$) y señal de entrada de emergencia.



Máquina de coser

Masa	Masa	1
OB	W : Salida del apartahilos	2
+24V/(+30V)	+24V	3
OA	T : Salida del cortahilos	4
0V	0V	5
ID	S6 : Protección cortahilos	6
OD	L : Salida liberación de hilo	7
+24V/(+30V)	+24V	8
IE	ES : Entrada parada de emerg.	9
0V/(+5V)	0V	10
+24V/(+30V)	+24V	11
OC	NCL : Salida enfriador aguja	12

Figura 2.9: Esquema eléctrico del conector de máquina de costura del controlador Mitsubishi

Fuente: Obtenido de Mitsubishi Electric

Otro aspecto importante a destacar es la velocidad o frecuencia de la señal de puntada para el diseño de un sistema electrónico de lectura. La velocidad de puntada es basada en la velocidad del servomotor, en la tabla 2.1 se muestran dichas velocidades, se aprecia que la velocidad máxima programable para las puntadas es de 6000 *rpm* y mínima de 200 *rpm*.

Ajuste de velocidad	**Velocidad (RPM)**
Velocidad máxima $_H$	6000
Velocidad mínima $_L$	200
Velocidad de corte del hilo $_T$	200

Tabla 2.1: Velocidades configurables en la máquina de costura

Fuente: Obtenido de Mitsubishi Electric

2.7. Errores en la costura de retenedor

Basados en los reportes obtenidos por Sandoval, 2024 en su tesis de maestría de una empresa manufacturera del ramo. Se obtuvieron datos de los defectos generados, o fallas relacionados con los retenedores y se clasificaron los mas recurrentes. Estos reportes corresponden al historial generado del 2018 al 2022.

- **Retenedor faltante.**
  En este se reporta a nivel planta y nivel cliente que un retenedor no se encuentra en su localización.

- **Retenedor invertido**
  En este se reporta que el retenedor ha sido cosido de manera invertida lo cual no permite un ensamble de la cubierta.

- **Retenedor Equivocado.**
  En este se reporta que ha sido cosido un retenedor de perfil diferente al que debe ser.

- **Retenedor mal colocado.**
  En este se reporta que el retenedor ha sido mal ensamblado a la cubierta

2.8. Herramientas de manufactura esbelta

Las herramientas de manufactura esbelta (*Lean Manufacturing*) son importantes para esta investigación ya que son de apoyo para detectar actividades y/o operaciones que afectan el proceso de costura. Se manejan los términos de las *3 M's*, utilizados comunmente en el sistema de producción Toyota (*Total Production System, TPS*), según Correa, 2007.

2.8.1. Muda

"Actividad que consume recursos sin crear valor para el cliente. Dentro de este concepto tenemos dos tipos de muda, donde las primeras serán difíciles de eliminar inmediatamente (agregan un valor de negocio) por ejemplo, transportar el material a un centro de distribución, y las segundas las cuales son aquellas actividades que pueden ser eliminadas fácilmente a través de un proceso kaizen, por ejemplo, eliminar pasos entre una estación y otra."(Correa, 2007, pág. 87)

2.8.2. Muri

"Sobrecargar equipos u operadores solicitándoles que corran a un nivel más alto del cual están diseñados o bien permitido."(Correa, 2007, pág. 87)

2.8.3. Mura

"Desigualdad en la operación. Por ejemplo cualquier producción de más, la cual no fue demandada por el cliente si no más bien por un problema en la producción, lo cual genera que el proceso de producción primero esté aprisa y luego tenga que esperar."(Correa, 2007, pág. 87)

En el sistema *TPS* existen 7 desperdicios:

1. Sobreproducción.- Hacer más de lo que el cliente ha solicitado cualquier momento en el que el valor no puede ser agregado por causa del retraso.

2. Movimiento.- Cualquier movimiento extra del operador cuando él o ella está realizando una secuencia de trabajo

3. Sobreprocesamiento.- Hacer más cosas al producto de las que el cliente pidió.

4. Corrección.- Cualquier cosa no "hecha bien a la primera" que requiera retrabajo o inspección. Incluye scrap y asuntos de apariencia

2.8.4. Pokayoke

El término *Pokayoke*, que significa "a prueba de error", fué introducido en 1963 por Shigeo Shingo, lo definió como un método para descartar errores en procesos de manufactura gracias a su experiencia en los años 50 en donde se dedicó ampliamente a sistemas de procesos de control en compañías japonesas, principalmente en dónde implementó Control de Calidad Cero (*Zero Quality Control, ZQC*). Éste término puede ser traducido como "Resistencia a errores" o evitar (*Yoker*) errores resultantes de inatención (*Poka*), (Dudek-Burlikowska & Szewieczek, 2009).

Los sistemas Pokayoke implican el llevar una inspección al 100 %, así como, una retroalimentación hacia el operador y auditores. También incluye llevar a cabo acciones inmediatas cuando los defectos o errores. La principal diferencia en la aplicación de dispositivos pokayokes en procesos existentes es que ya se conocen el tipo de defectos que ocurren y la frecuencia de aparición ocurren (Ochoa et al., 2018).

2.8.5. Pokayokes en la industria textil automotriz

En la industria textil automotriz, los sistemas a prueba de error son cruciales para garantizar la calidad y la seguridad de los productos fabricados. Estos sistemas se implementan para minimizar los errores humanos y mejorar la eficiencia en los procesos de producción. A continuación, se detallan algunos de los métodos y tecnologías utilizadas para lograr sistemas a prueba de error en esta industria:

- **Guías y plantillas:** Ayudan a los trabajadores a colocar materiales o piezas en la posición correcta.

- **Sensores y detectores:** Detectan si una pieza está mal colocada o si falta algún componente.

- **Sistemas de enclavamiento:** Impiden que una máquina funcione si no se cumplen ciertas condiciones de seguridad. Regularmente son sistemas electromecánicos.

En la industria son incorporados principalmente por un departamento de Mejora Continua que busca optimizar y mejorar los procesos en materia de costo-beneficio.

2.9. Fallas de costura de retenedor en una empresa textil automotriz

La tabla 2.2 muestra un concentrado de fallas que se han presentado desde el 2018 al 2022 en una empresa de manufactura de cubiertas de asiento automotriz. Se recopilaron fallas de acuerdo a distintos niveles de inspección: Planta, Cliente 1, Cliente 2 y Cliente 3. Se recabaron las fallas más críticas, mismas que ya se han mencionado.

La inspección en planta se refiere a una inspección realizada en el proceso interno, antes de que el producto vaya al cliente evitando gastos económicos fuertes y solamente generando re-trabajos, tiempo muerto y materia prima desperdiciada (aún así es pérdida monetaria). La inspección en Cliente 1, 2 y 3 se refiere a que el cliente de ésta empresa manufacturera ha detectado las fallas, cuando sucede esto la empresa cliente procede a regresar el embarque completo, solicitar sorteos de material imponiendo una empresa sorteadora de su elección, entre otras cosas. Con esto pueden generarse gastos desde $2000 hasta $5,000.00 USD por falla detectada por el cliente.

Año de la falla	**Nivel de inspección**			
2018	**Planta**	**Cliente 1**	**Cliente 2**	**Cliente 3**
Retenedor faltante	712	22	16	38
Retenedor invertido	142	14	7	10
Retenedor equivocado	53	9	6	5
Retenedor mal colocado	68	3	0	6
2019				
Retenedor faltante	333	16	0	5
Retenedor invertido	72	9	0	2
Retenedor equivocado	29	1	0	0
Retenedor mal colocado	18	2	0	1
2021				
Retenedor faltante	138	6	0	0
Retenedor invertido	34	3	0	0
Retenedor equivocado	16	1	0	0
Retenedor mal colocado	17	2	0	0
2022				
Retenedor faltante	203	8	0	0
Retenedor invertido	65	10	0	0
Retenedor equivocado	7	3	0	0
Retenedor mal colocado	12	0	0	0

Tabla 2.2: Fallas de una empresa manufacturera de cubiertas de asiento en un periodo de 4 años desde el 2018 al 2022

Capítulo 3

Sistema de control de costura

En este capitulo presentamos el desarrollo de un sistema de control de costura que permite el ensamble del retenedor correcto en un modelo específico de cubierta. El sistema verifica la presencia del elemento a costurar, permite la costura o la inhabilita, y es capaz de determinar la longitud del componente por un método eficaz. A continuación se explican detalles de las variables identificadas y otros detalles para su diseño y fabricación, cómo se implementa en la estación de costura y su funcionamiento en operación con el personal.

En adelante por simplicidad vamos a usar el término *Pokayoke de retenedor* para referirnos al sistema de control de costura.

3.1. Análisis

Para asegurar una correcta colocación del retenedor en el cubre asiento, deben asegurarse como mínimo las siguientes características en el proceso de costura en la estación correspondiente

- Presencia del retenedor correcto
- Longitud del retenedor
- Orientación del retenedor

La presencia del retenedor puede ser fácilmente detectada con diversos sensores que existen en el mercado. Hay que tener en cuenta que se necesita validar la orientación del mismo y para esto es necesario implementar un sensor pokayoke de retenedor que realice ambas funciones; retomando la idea de la guía que algunas empresas implementan, y sabiendo que en la misma empresa, operación o estación pueden existir perfiles distintos.

La solución es diseñar una guía plástica o metálica que ajuste con el perfil del retenedor indicado y evitar la introducción de un retenedor de diferente modelo. Debe en esta guía integrarse un sensor de presencia para que la maquina no opere hasta recibir esta señal.

Para evitar la evasión de los operadores al sensor es decir colocar algún tipo de material que apruebe el uso de la maquina en forma incorrecta, el algoritmo del controlador deberá tener la secuencia bien definida para que detecte los cambios anormales del proceso.

En cuanto a la longitud del retenedor adecuada en el proceso; la máquina de costura genera un ancho de puntada determinado según el modelo de la orden que corre y n cantidad de puntadas puede determinar una distancia recorrida por la costura y con esto el rango de longitud del retenedor.

Recordemos que la máquina de costura emite señales eléctricas por cada puntada generada como se mostró en la sección 2.4.

Consideremos nuevamente por simplicidad en nuestro algoritmo: n costura inicial, m costura completa, o costura final y p rango de puntadas de salida. Como indicadores debemos considerar las señales de la máquina:

- Señal eléctrica de costura.
- Señal eléctrica de corte.
- Señal de bloqueo de máquina.

Ya que con estos datos se lee directamente de la máquina cuántas puntadas, y por defecto, una aproximación de la distancia recorrida, cuándo se genera el corte de hilo, con la señal de bloqueo se podrá dar permiso o no de operar a la máquina.

Para la correcta orientación del retenedor es suficiente el uso de la guía propuesta anteriormente.

3.2. Diseño

De acuerdo al análisis anterior se generó un diseño a base de ingeniería aplicada utilizando herramientas de manufactura avanzada, en esta sección explicaremos cada una de las partes que lo conforman y las ideas básicas de interconexión. Incluimos también los procesos de fabricación.

3.2.1. Guía de retenedor

Es importante destacar que para este trabajo se usó el retenedor modelo D721 (*ver 2.3*) del fabricante, Gemini Plastics, Inc, en la figura 3.1 se muestra una imagen del retenedor. Sin embargo, el proceso es similar para cualquier otro perfil, desde luego con las consideraciones necesarias si existiera cambio en los requerimientos del cubre asiento.

Figura 3.1: *Fotografía del retenedor modelo D721 usado para las pruebas del dispositivo prueba y error. Vista lateral. Imagen: autoría propia*

Como se puede ver en la figura 2.2 el retenedor es sumamente largo en comparación con su sección transversal, además es muy fácil por el operador confundir las dimensiones de ese retenedor en particular con otros retenedores que se colocan en otras partes del asiento. Para esto se diseñó una guía que pudiera instalarse en la mesa de la máquina de costura con una ranura en forma del retenedor en cuestión (véase figura 3.2).

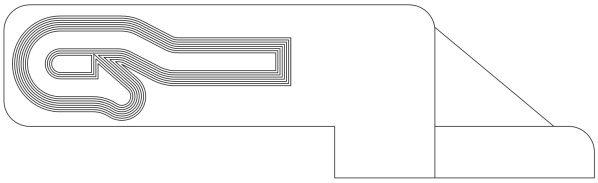


Figura 3.2: Vista frontal de boceto de la base que conforma una ranura para la guía del retenedor con relieve de entrada. Imagen: autoría propia

Con esta idea principal se procede a generar un diseño adicional que incorpora distintos elementos para facilitar su fabricación, ensamble y mantenimiento. En la figura 3.3 se hará referencia a los números que contiene la ilustración para referirnos a partes específicas. En ésta, véase que la guía está conformada por una base principal (77) en la cuál está diseñada una ranura amplia para el retenedor (103) que así mismo tiene un cajón para una tapa o inserto (86), y que es la guía del perfil de la que se ha estado hablando; este facilitará los cambios de modelo sin tener que cambiar la base completa, solamente cambiando el inserto con el perfil requerido considerando que la orientación no puede cambiar en este caso particular. La base principal también contiene un cajón (79) que funciona como espacio para el circuito (96) que conforma el sensor, siendo éste un emisor de luz infrarroja; se utilizan componentes de luz infrarroja para suprimir las alteraciones por iluminación del exterior. Incluye también una perforación (100) por la cuál el az de luz viajará hacia el extremo inferior y una perforación (101) como conducto para el cableado

del circuito. Éste cajón contiene una tapa (78) para cerrarlo. En la parte inferior de esta base principal se tiene un cajón similar pero ahora para que el circuito del sensor de luz infrarroja (98) se coloque ahí, de igual manera con sus perforaciones y tapa (97) para la misma situación explicada anteriormente.
Por otro lado se cuenta con un soporte (90) para la base principal. Éste tiene una forma de ángulo a una inclinación de 90°, una perforación de agujero pasado el cuál sirve como conducto para el cableado del sensor(99) y perforaciones para fijación con la base principal y la superficie dónde es utilizado. El cable (88) contiene las 4 líneas eléctricas para la funcionalidad del sensor de retenedor, mismas que terminan en un conector (89) de grado industrial que conectará al circuito de control.

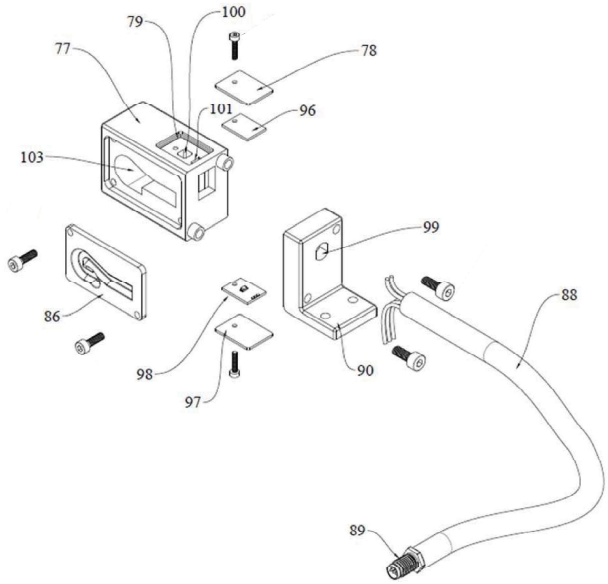


Figura 3.3: Vista isométrica explosionada de la guía de retenedor, tarjetas de circuito impreso, conectores y elementos de sujeción. Imagen: autoría propia

Se muestra en la figura 3.4 el sensor de retenedor en su forma de ensamblado mismo. Es importante destacar que el cable de comunicación tendrá una longitud de 3 a 4 pies de largo para facilitar la instalación del mismo.

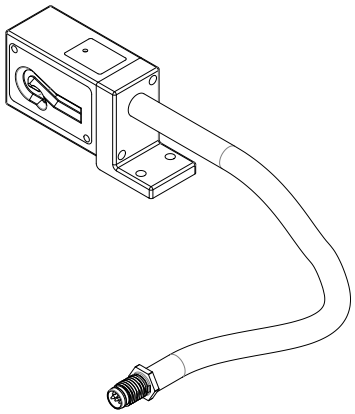
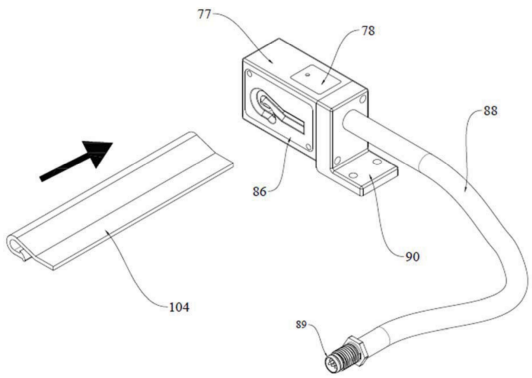
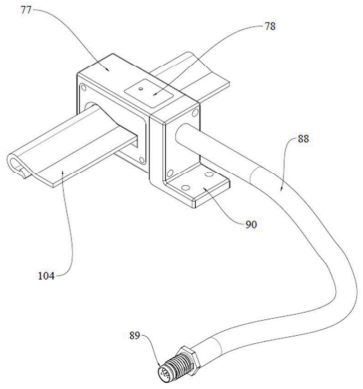


Figura 3.4: Diseño final del sensor de presencia del retenedor y su conexión para el modulo. Diseño realizado en Solid Works. Imagen: autoría propia

En la figura 3.5 se ilustra el retenedor fuera y dentro del sensor. Se muestra en la figura 3.5 (a) la dirección de inserción del retenedor (104) a la guía sensor (86). En este momento el sensor emite una señal eléctrica que indica la ausencia del componente. Y en la figura 3.5 (b) se aprecia la forma en que el retenedor es insertado con la dirección indicada en la anterior. Y como se ha explicado anteriormente, la longitud del retenedor varía de acuerdo al modelo.



(a) Sensor de retenedor con la dirección de entrada y salida.



(b) Retenedor insertado en guía del sensor.

Figura 3.5: Sensor de retenedor en su forma completa con retenedor fuera y retenedor insertado. Imagen: autoría propia

3.2.2. Circuito de control

Para que la señal de cambio que brinda el sensor de retenedor pueda ser procesada se requiere de un elemento de control. Bien se sabe que en la industria pueden utilizarse diversos tipos de dispositivos como el PLC (Controlador Lógico Programable, por sus siglas en inglés) el cuál contiene variedad en gamas, se opta en este trabajo diseñar un controlador propio, dedicado a la tarea exclusiva de prevenir errores de costura, programable y compatible eléctricamente con máquinas de costura de una manera más práctica.
Se utiliza un microcontrolador a 16MHz de velocidad del reloj, con niveles de 5v en sus señales eléctricas de entrada así como electrónica diversa para el acoplamiento con la máquina de costura y conexión del sensor de retenedor. De acuerdo a lo que se vio en la sección 2.6 en dónde se aprecian las magnitudes eléctricas de la máquina de costura y tomando en cuenta que se decide medir la longitud del retenedor acorde a la cantidad de puntadas, en la figura 3.6 se muestra el sistema electrónico que pueda ser capaz de detectar cambios de voltaje a alta velocidad y acoplarlas a los niveles de 5v del microcontrolador.

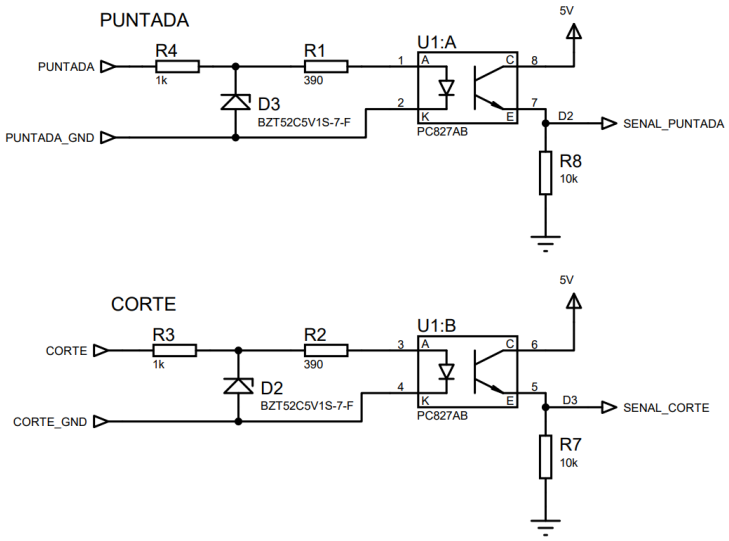


Figura 3.6: Circuito electrónico de acoplación de señales de puntada y corte de la máquina de costura al circuito de control.

En la figura 3.7 se muestra del diagrama del circuito esquemático en cuestión y contiene elementos electrónicos que complementan la función que se requiere en el proceso. El diagrama está separado en secciones pero eléctricamente se encuentra conectado a traves de etiquetas y lineas. Contiene una sección A de programación por USB, una sección B de regulación de voltaje el cuál permite que el voltaje de una máquina industrial pueda ser utilizado en este dispositivo, una sección C como acoplación de señales de la máquina al dispositivo de control, una sección D el cuál es la etapa de activación de señales hacia

la máquina de costura. Una sección E

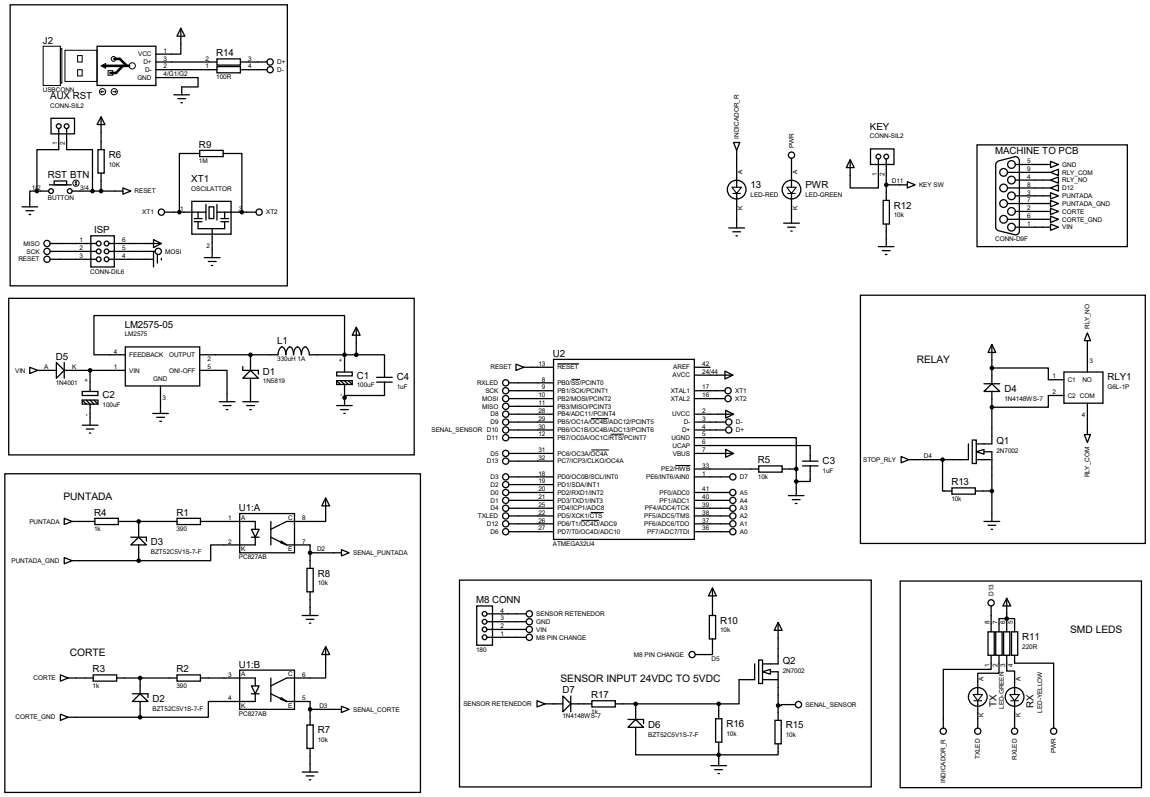


Figura 3.7: Diagrama esquemático del circuito eléctrico de interconexión de los componentes electrónicos. Imagen: autoría propia

Ahora explicaremos algunas etapas de la construcción del modulo de control.

Elaboración de la tarjeta de circuito impreso (*PCB*) sobre la cual se ensamblarán los componentes electrónicos, véase figura 3.8. EL diagrama se elabora en el software Proteus. El diagrama esquemático del circuito se muestra en la figura 3.7 con todos los componentes involucrados y las interconexiones necesarias.

3.2.3. Programación y algoritmo de control

1. Primero debe configurar el numero de puntadas minimas de acuerdo al retenedor elegido en la maquina de costura.

2. Numero de puntadas previas al inicio de incluir el retenedor denominado numero de puntadas sin el retenedor en la maquina de costura.
3. EN seguida debe leerse la bandera de señal de puntada, señal de corte, interruptor de emergencia y el sensor debidamente conectado.
4. Activar Led de alerta rojo de bloqueo (parpadeo), indicando que esta listo para funcionar.
5. Activar relevador eléctrico de bloqueo de forma automatica para impedir trabajar sin la presencia del retenedor.
6. Verificar si el sensor esta conectado a la caja del sistema de circuito de control.

   6.1 si: continuar.

   6.2 no: activar led de alerta rojo de bloqueo, volver al paso numero 4.
7. Se verificar si el interruptor de llave esta activado.

   7.1 si: continuar.

   7.2 : activar led de alerta rojo de bloqueo, volver al paso numero 4.
8. Reinicia contador de puntadas. Se inicia el proceso de costura del retenedor y se cuentan las puntadas en memoria de procesador.
9. Finaliza el numero de puntadas programadas y enciende led de alerta
10. Verifica que el retenedor esta presente en el sistema.

    10.1 si: continuar en paso 11.

    10.2 no: se verifica la cantidad de puntadas con retenedor sea mayor a la cantidad de puntadas sin retenedor.

    10.2.1 si: verificar si existe señal de sensor conectado.

    10.2.1.1 no: continuar en al paso 10.

    10.2.1.2 si: verificar si la cantidad de puntadas es correcta.

    10.2.1.2.1 si: ir a paso 4.

10.2.1.2.2 no: verificar si existe señal de corte.

10.2.1.2.2.1 si: continuar en el paso 8.

10.2.1.2.2.2 no: continuar en al paso 10.

10.2.2 no: verificar si existe la señal de sensor conectado.

10.2.2.1 si: se activa relevador para bloqueo y se va al paso 10.

10.2.2.1 no: continuar en el paso 4.

11. Apagar alarma led de alerta.

12. Desactivar elevador eléctrico para bloqueos.

13. Verificar si la cantidad de puntadas es menor a la cantidad de puntadas programadas para retenedor.

14. Verificar si existe la señal de sensor conectado.

    14.1 no: se va al paso 4.

    14.2 si: continuar.

15. Verificar nuevamente si la cantidad de puntadas es mayor al mínimo (5 puntadas).

    15.1 no: se va al paso 10.

    15.2 si: continuar.

16. Revisar si el retenedor presente en el sensor para iniciar nuevo ciclo de puntadas.

    16.1 no: continuar en paso 4.

    15.2 si: continuar en paso 10.

el programa en lenguaje C correspondiente se encuentra en los anexos.

3.2.4. Ensamblado

Paso para un correcto ensamble del Pokayoke de retenedor:

1. Ensamble de interruptor de llave en la carcasa superior de la caja de control 3.10. La fijación es con tuercas interior e inferior en la carcasa.

2. Fijar la tarjeta de control 3.10 en la carcasa inferior de la caja de control 3.10, se usan tornillos.

3. Se conecta el arnés del interruptor de llave a en la tarjeta de control.

4. Armado y cierre de carcasa de control.

5. Se arma la guía de retenedor 3.17, y se interconecta con la caja de control. 3.16.

6. Programación del microcontrolador. Algoritmo 3.11.

7. conexión a la maquina de costura.

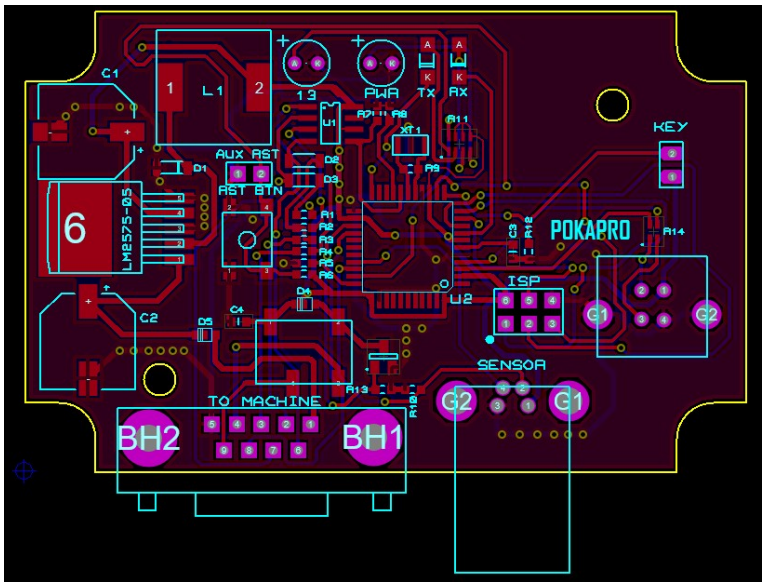


Figura 3.8: Diseño del circuito eléctrico de interconexión de los componentes electrónicos. Imagen: autoría propia

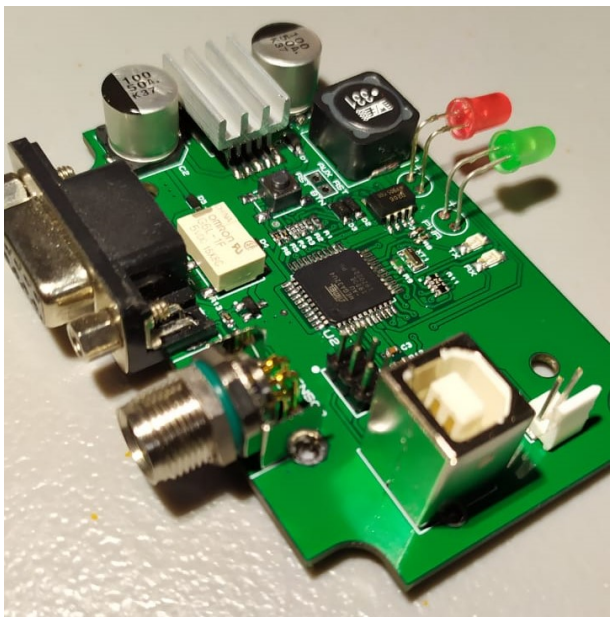


Figura 3.9: Tarjeta de circuito impreso (*PCB*) con sus componentes electrónicos ensamblados y soldados. Circuito eléctrico de construcción y autoría propia. Imagen: autoría propia

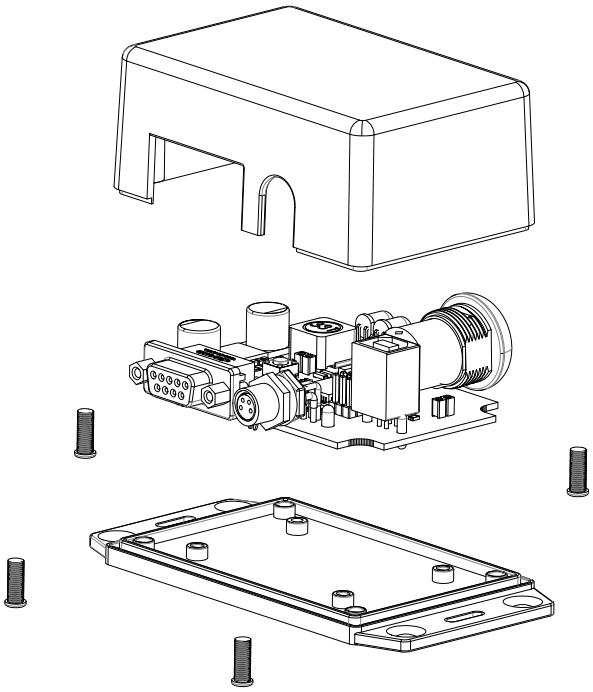


Figura 3.10: Vista perspectiva isométrica y explosionada del dispositivo procesador de señales. Imagen: autoría propia

3.3. Algoritmo

De acuerdo a lo expuesto en las dos secciones anteriores se elaboro un algoritmo de control para que el Sistema de control de costura cumplan los parámetros establecidos en el proceso de la industria, vease 3.11. Se consideraron todas los parámetros y características del proceso de costura del retenedor D721. En seguida explicaremos en forma breve cada una de las etapas de control:

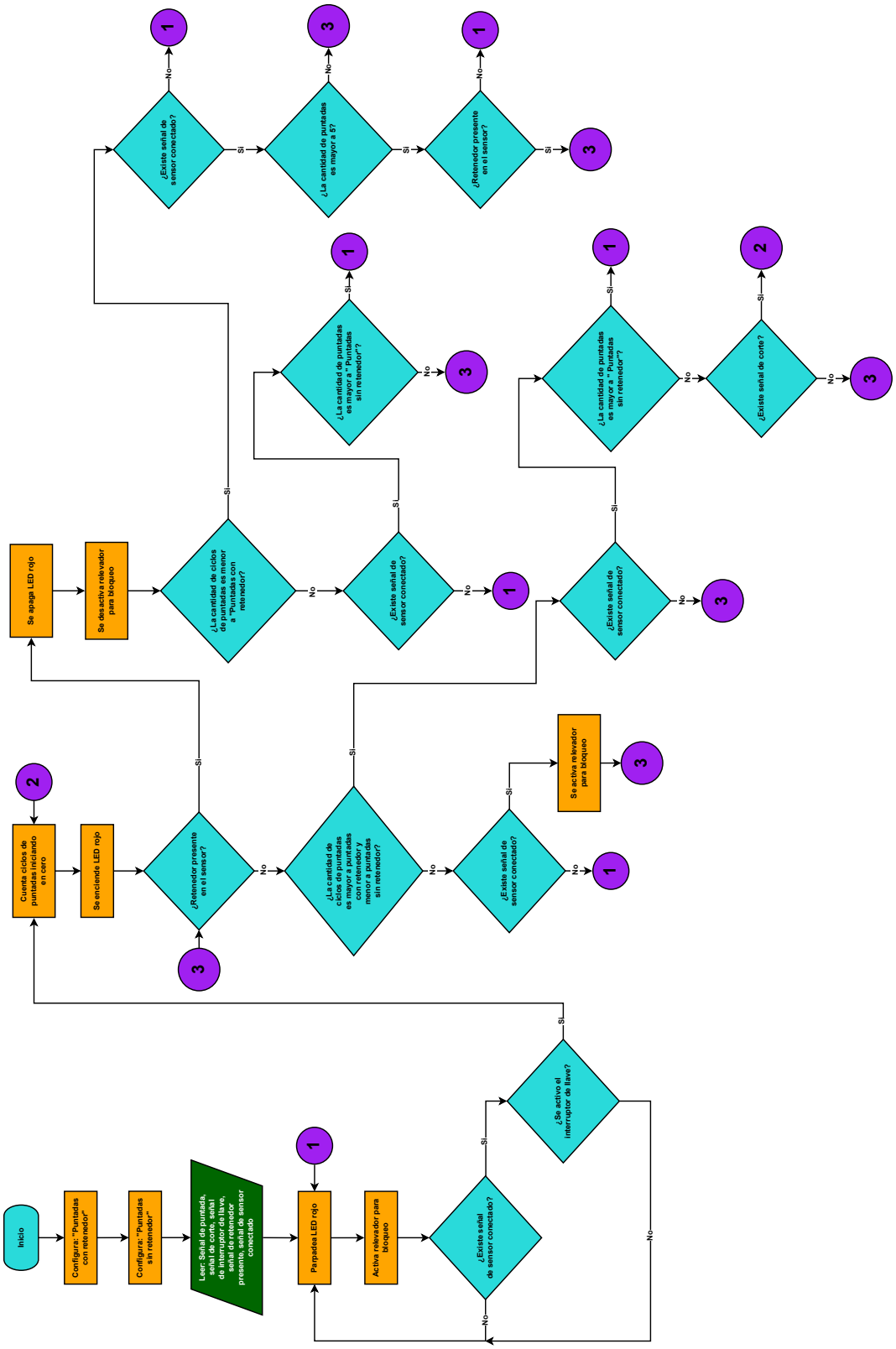


Figura 3.11: Algoritmo de control diseñado e implementado en el microcontrolador del dispositivo.

3.4. Pruebas

Se muestra en la Figura 3.12 el sensor de retenedor impreso en *3D* donde el retenedor es insertado para su correcto proceso, diseñado específicamente con las medidas del fabricante del retenedor. La fabricación del sensor se basa en las medidas del retenedor especificadas por el fabricante según se explico anteriormente y se incluye un espacio para un sensor de presencia infrarrojo, del tipo on-off, es decir envía señal si tiene retenedor y deja de enviar cuando no.

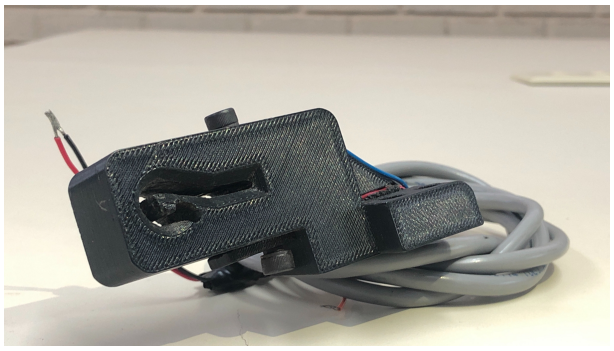


Figura 3.12: Prototipo inicial del sensor de retenedor impreso en 3D ajustado a las características requeridas por el departamento de calidad de la empresa. Imagen: autoría propia

Se realizaron pruebas en una maquina de costura industrial que se encuentra en el laboratorio de Ingeniería Mecatronica del Instituto Tecnológico para comprender el proceso de costura de los elementos retenedores (véase figura 2.5), posteriormente en otra maquina especial para pruebas de control electrónico (véase la figura 2.6) se realizaros pruebas de funcionamiento del sistema desarrollado.

Una vez validado el funcionamiento del dispositivo en la máquina de costura en el laboratorio de la institución, se programó una visita a la empresa Irvin Jaropamex Planta 3. Se realizaron las pruebas pertinentes para la validación del prototipo, estas se hicieron en dos etapas, la primera implicaba la comunicación adecuada entre la maquina de costura y el dispositivo desarrollado, véase figura 3.13. La segunda etapa fue de utilidad para ajustar y validar los parámetros establecidos en el algoritmo del dispositivo, a su vez, en esta etapa se probó la eficiencia del sensor de retenedor, véase figura 3.14.

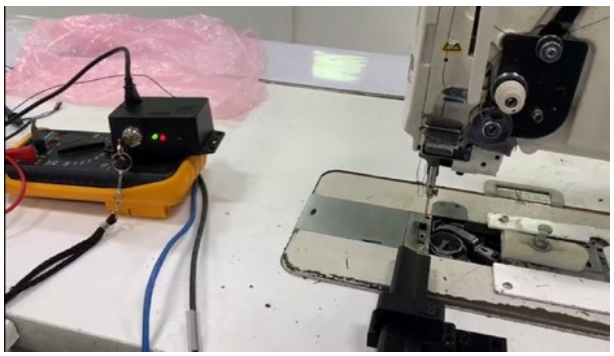


Figura 3.13: Pruebas iniciales de comunicación y validación del correcto funcionamiento del dispositivo de control en la maquina de la empresa. Imagen tomada de:cortesía Irving Jaropamex Sabinas.

Figura 3.14: Pruebas finales de la validación de parámetros establecidos en el sistema para el correcto funcionamiento del dispositivo de control en la maquina de la empresa. Imagen tomada de: cortesia Irving Jaropamex Sabinas.

3.5. Implementación

Pruebas en lab de mecatronica

Figura 3.15: Prototipo actual del dispositivo a prueba de errores en el proceso de costura de retenedor desarrollado, con su correspondiente llave de activación.

Imagen: autoría propia.

Figura 3.16: Vista posterior del prototipo actual del dispositivo donde se aprecian los conectores *DB9* y *M8 industrial*.

Imagen: autoría propia.

En la figura 3.15, se muestra las las pruebas de efectividad del dispositivo con la intención de verificar su utilidad en periodos largos de funcionamiento antes de llevarlo a las lineas de producción de la industria para avanzar al nivel 7 del TRL , esto se realizo en una maquina de costura similar a las utilizadas en la industria (véase **pruebas**), de esta manera se comprobó que el dispositivo trabaja de forma efectiva por periodos de tiempo prolongados. Además, es una forma efectiva de corregir el problema detectado, pues evita de forma temprana la costura incorrecta del componente retenedor y por consiguiente

previene retrabajos o perdidas de material, a su vez permite que los encargados del área de calidad puedan hacer un chequeo adecuado de la situación.

En cuanto a las pruebas del dispositivo del sistema podemos concluir

1. El rendimiento mecánico y eléctrico obtenido del prototipo del sensor mostrado en la figura 3.17 fue satisfactorio en las pruebas en la industria. Faltan mas estadísticas para poder cuantificar este punto.

2. El elemento retenedor es capaz de introducirse a través del perfil del sensor y atravesarlo sin complicaciones (véase figura 3.18) esto si se pudo comprobar por los operadores ya que no se registraron complicaciones de operación.

3. Se comprobó que los elementos electrónicos se ubican en las zonas correctas ya que son capaces de detectar el retenedor plástico sin complicaciones.

4. La comunicación con el dispositivo que procesa estas señales y se enlaza con las maquinas de costura fue correcto y su velocidad de respuesta es óptima en el sentido de la velocidad de operación del proceso del usuario.

5. El desgaste a pesar de la gran cantidad de pruebas ha sido mínimo, aunque para sus pruebas futuras en la industria, se planea hacer una versión del sensor de retenedor con materiales aun mas resistentes al desgaste y la fatiga, como lo son el aluminio o algún tipo de acero.

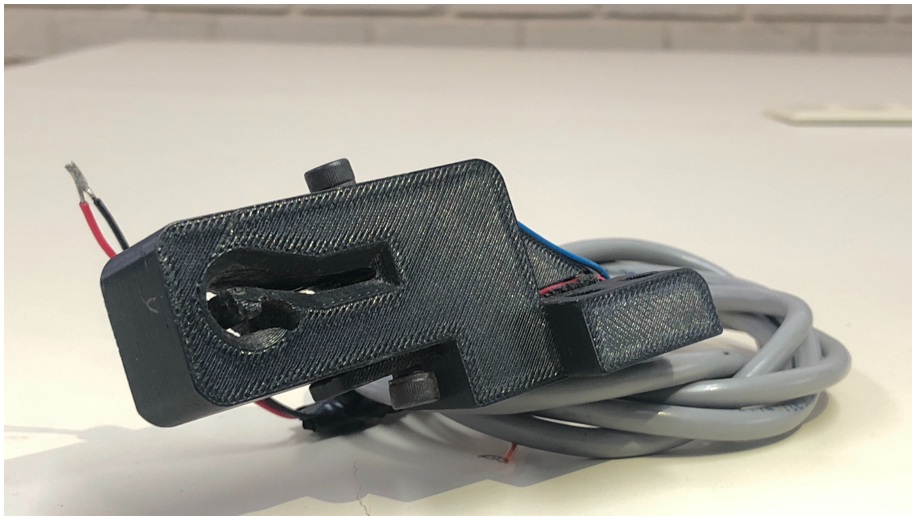


Figura 3.17: Prototipo de sensor de retenedor con el cual se hicieron las correspondientes pruebas de validación y funcionamiento del sistema. *Imagen: autoría propia.*

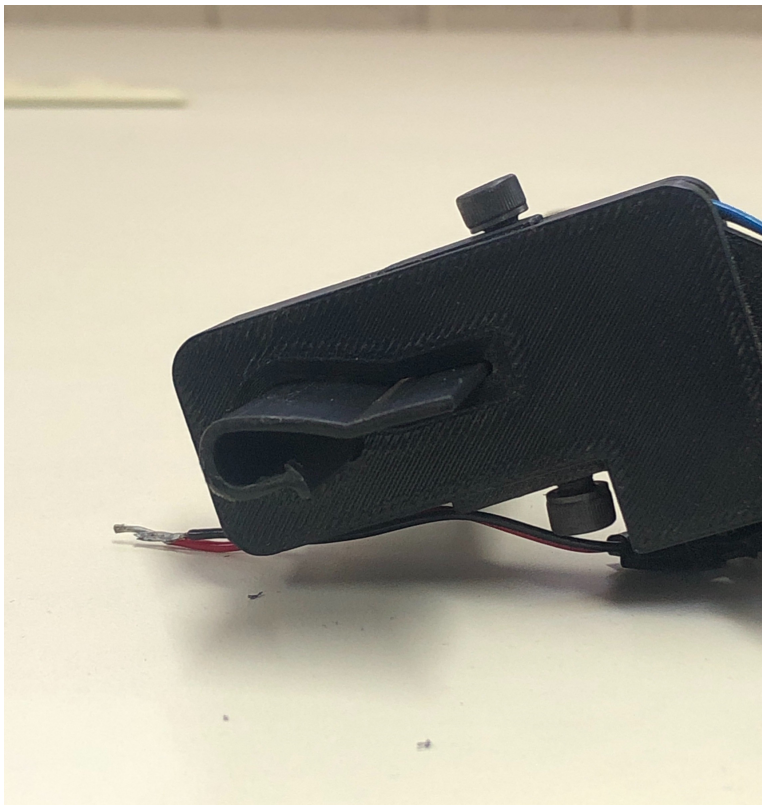


Figura 3.18: Sensor impreso en *3D* con el elemento retenedor introducido con precisión a través del perfil diseñado en el propio sensor. *Imagen: autoría propia.*

Capítulo 4

Conclusiones

En este capitulo presentamos las conclusiones de nuestra investigación, es decir, como se lograron cumplir los objetivos y se pudo comprobar parcialmente nuestra hipótesis, en el sentido que mas adelante aclararemos. También, incluimos algunos comentarios de interes sobre los procesos de la fabricación e implementación del dispositivo. Finalmente comentaremos el estado del arte de nuestra investigación y el trabajo futuro a realizar.

4.1. De la investigación

- Objetivos de la investigación.
  El objetivo principal de la investigación se ha alcanzado en su totalidad ya que se desarrollo un sistema a prueba de error funcional. Los objetivos secundarios se cumplieron también, aunque el cuarto objetivo solo se cumplió parcialmente ya que solo se implementó en pruebas de laboratorio y no en la máquina de costura del componente retenedor.

- Hipótesis.
  Se demostró en esta investigación que un sensor de presencia y una tarjeta de control electrónica con un algoritmo de programación adecuado puede conformar a un *pokayoke* efectivo para evitar errores generados en un proceso industrial de costura de un componente retenedor sobre una cubierta automotriz; el algoritmo de control permite o bloquea la acción de costura para detenerla a través de la lectura de presencia de retenedor y otras variables del proceso mismo.
  Se pudo generar satisfactoriamente un *pokayoke* con las características necesarias para evitar los errores generados normalmente de acuerdo a la información obtenida de una empresa. Se mitigaron las fallas tabuladas, con el sistema pokayoke.

4.2. De la fabricación e implementación

- El **diseño** ha sido clave en esta investigación ya que permitió obtener distintos modelos según las propuestas de solución. Se determinó un sensor de retenedor específico que emite una señal eléctrica a una tarjeta de control, se pensó en la flexibilidad de éste en su conexión y adaptabilidad en la instalación.
  Así mismo, la tarjeta de control ha sido diseñada a medida del proceso para trabajar con la energía propia de la máquina y a los niveles de señales de la misma para una comunicación acertada.
  En síntesis, el diseño es específico para el proceso pero flexible para ser utilizado como pokayoke de procesos similares, cambiando el sensor del componente y ajustando el algoritmo según lo requerido.

- La **base sensor de retenedor** por ser un dispositivo de impresión 3D puede optarse por la inyección de plástico y generar la base requerida para la verificación de un componente con un proceso similar al de retenedor D721.

- La **tarjeta de control** por ser un dispositivo electrónico, cuenta con elementos de línea de alta calidad, y la fabricación de la tarjeta ha sido solicitada a una empresa maquiladora de circuitos impresos para obtención de una tarjeta de calidad con las demandas que la industria solicita. Cabe mencionar que el resultado final de la tarjeta fué después de 4 intentos previos.

- Por ello, la **instalación** se considera sencilla en el aspecto de que:

  - La base de sensor no requiere más que la alineación con la tela o prenda y la máquina de costura para el montaje sobre la mesa de la misma, y su conexión es directo al dispostivo de control por medio del conector industrial tipo M8.
  - La tarjeta de control solo requiere 2 líneas eléctricas de la energía de la máquina, 2 líneas de señales para puntadas, 2 líneas de señales para corte y 2 líneas de señales para el paro de emergencia. El resto lo hace el algoritmo de control junto con el sensor de retenedor
  - Por otro lado, el **condicionamiento** de la costura de acuerdo a eventos de bloqueo programado va de acuerdo al proceso o requerimientos y se pueden modificar los parámetros de:
    - cantidad de puntadas de retenedor
    - puntadas de margen

- Pruebas La base de sensor y un sensor diferente pueden adaptarse al sistema ya que se ha utilizado un conector M8, con terminales estandarizadas.

4.3. Propiedad Industrial

Se ha sometido el registro de propiedad industrial del dispositivo ante el Instituto Mexicano de la Propiedad industrial, con número de registro **MX-a-2021-006055** y que actualmente se encuentra en revisión de fondo. En el siguiente enlace se puede consultar la gaceta online de IMPI del registro.

4.4. Del trabajo futuro

- Publicación:

  Estamos trabajando en la publicación de esta investigación como propuesta innovadora de pokayoke en el sector industrial textil automotriz. Se ha revisado diversas revistas en las que la investigación puede publicarse como: IEEE, JOURNAL OF MANUFACTURING SYSTEMS, JOURNAL OF PROCESS CONTROL, MICROMACHINES, entre otros.

- Seguimiento de la investigación:

  Debido a que se ha trabajado con el registro de patente el proyecto puede escalarse a licenciamiento de la misma, otros procesos de manufactura textil en dónde se busca verificar la costura de un elemento en sus procesos de ensamble pueden implementar el sistema.

Capítulo 5

Anexos

```
/*
        proyecto por Ing. Francisco Luna

        entradas =      estado del sensor de retenedor retenedor
                                puntada
                                corte
                                llave
                                sensor de que el retenedor esta dentro del
                                sensor
        salida   =      rele de funcionamiento
                                led de estado


        rango de puntadas para hacer el corte de +40 puntadas max
        si te pasas del rango la maquina se bloquea. hasta que se active el sensor
de llave
*/

void paro();
void contador();

// entradas
#define pLlave          11
#define pSensor         10
#define pCambio         5
#define pPuntada        2 // <- pin de interrupcion
#define pCorte          3
// salidas
#define pEstado         13
#define pRele           4


int tiempoCorte = 1500;
int rangoConRetenedor = 50;             // <--
int rangoSinRetenedor = 70;     // <-- tope maximo
//////////////////////////////
int rango = 20;
//////////////////////////////
unsigned int numPuntadas = 0;
boolean estado = 0,condicion=0;


void setup()
{
        pinMode(pLlave, INPUT);
        pinMode(pSensor, INPUT);
        pinMode(pCambio, INPUT);
        pinMode(pPuntada, INPUT);
        pinMode(pCorte, INPUT);
        pinMode(pEstado, OUTPUT);
```

Figura 5.1: Código en C del algoritmo del modulo de control. Parte 1

```
        pinMode(pRele, OUTPUT);
        attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pPuntada), contador, RISING);
        //      empieza enclavado
        digitalWrite(pEstado, 1);
        while(!digitalRead(pLlave)){
           digitalWrite(13,!digitalRead(13));
    delay(100);
          }     // en 0
        while(digitalRead(pLlave));     // en 1
        digitalWrite(pEstado, 0);
        estado = 1;
        //
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("NUMERO DE PUNTADAS = ");
  Serial.println(numPuntadas);

}

void loop()
{
  //Serial.println("ciclo principal");
        while( (numPuntadas <= rangoConRetenedor) && estado == 1 ){
                  //Serial.println("while( (numPuntadas <= rangoConRetenedor) &&
estado == 1 )");
                if(!digitalRead(pSensor)){
      //Serial.println("while( (numPuntadas <= rangoConRetenedor if del Sensor");
                        digitalWrite(pRele, 1);
                        digitalWrite(pEstado, 1);

                }else
if(digitalRead(pSensor)&&numPuntadas>3&&numPuntadas<rangoConRetenedor){
      //Serial.println("while( (numPuntadas <= rangoConRetenedor if del Sensor");
                        estado=0;
                        break;


                }else if(digitalRead(pSensor)){
          digitalWrite(pRele, 0);
          digitalWrite(pEstado, 0);
                }
                if(!digitalRead(pCambio)){
      //Serial.println("while( (numPuntadas <= rangoConRetenedor if del pcambio");
                    estado=0;
                    break;
                }

                if(digitalRead(pCorte)){
//      Serial.println("numPuntadas <= rangoConRetenedor");
                    estado=0;
                    break;
```

Figura 5.2: Código en C del algoritmo del modulo de control. Parte 2

```
                }
        }

        while( (numPuntadas >= rangoConRetenedor && numPuntadas <=
rangoSinRetenedor) && estado == 1 && digitalRead(pSensor)){

                if(digitalRead(pCorte) && ((abs(rangoSinRetenedor - numPuntadas)) <
rango )  ){
                        delay(tiempoCorte);
                        numPuntadas=0;
      break;
                }

                if(digitalRead(pCorte) && ((abs(rangoSinRetenedor - numPuntadas)) >
rango )  ){
//      Serial.println("numPuntadas >= rangoConRetenedor && numPuntadas <=
rangoSinRetenedor");
                        estado = 0;
                        break;
                }

            if(!digitalRead(pCambio)){
                    estado=0;
                    break;
                }
        }

 while((numPuntadas > rangoSinRetenedor)&&estado==1){
  numPuntadas=0;
  estado = 0;
 }

  while(estado == 0){
    digitalWrite(pRele, 0);
    digitalWrite(pEstado, 0);
      if(!digitalRead(pLlave)){
        digitalWrite(pRele, 0);
          while(!digitalRead(pLlave)){
            digitalWrite(pEstado, !digitalRead(pEstado));
            delay(200);
          }
          digitalWrite(pEstado, 0);
          numPuntadas = 0;
        estado = 1;
        break;
      }
  }
}

void contador(){
```

Figura 5.3: Código en C del algoritmo del modulo de control. Parte 3

```
        if(estado){
                numPuntadas++;
    Serial.print("NUMERO DE PUNTADAS = ");
    Serial.println(numPuntadas);
        }
}

void paro(){

}
```

Figura 5.4: Código en C del algoritmo del modulo de control. Parte 4

Bibliografía

Bergvall, B. A. (1998, mayo). Stitch forming element control using stepping motors which can be calibrated.

Braun, O. (1887, junio). Presser-control devices.

Correa, F. G. (2007). Manufactura esbelta (lean manufacturing). Principales herramientas. *Revista Raites*, *1*(2), 85-112.

Dudek-Burlikowska, M., & Szewieczek, D. (2009). The Poka-Yoke method as an improving quality tool of operations in the process. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, *36*(1), 95-102.

Etsuzo, N. (2007, febrero). Work-feeding means with feed dogs having horizontal and vertical movements arranged above the workpieces.

Fast-Berglund, Å., Bligård, L.-O., Åkerman, M., & Karlsson, M. (2014). Using the TRL-methodology to Design Supporting ICT-tools for Production Operators [Variety Management in Manufacturing]. *Procedia CIRP*, *17*, 726-731. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.039

Galloway, D. (2002). *Mejora continua de procesos*. Gestión 2000, Barcelona.

Geminis-Plastics-Inc. (2004). Retainers Layout.

Hülshoff, H. D.-I., (Fh), M. D.-I. L., (TH), U. D.-I. S., & Kothe, P. D.-I. (2005, noviembre). Sewing process arrangement.

Martinez, J., Luna, J., & Rocha, P. (2019, diciembre). Contador de ciclos para máquina de costura.

Mitsubishi-Electric-Corporation. (2015). *Mitsubishi Limiservo X G series TECHNICAL INSTRUCTION MANUAL* [Disponible en https://mx.mitsubishielectric.com/fa/es/support/technical-support/knowledge-base/getdocument/?docid=3E26SJWH3ZZR-32-38]. Mitsubishi Electric Corporation.

Munar, E. G. C., et al. (2014). Propuesta de aplicación de conceptos de manufactura esbelta a una línea de producción de costura de una empresa de confecciones de tejido de punto para exportación. *Sinergia e Innovación*, *2*(1), 52-90.

Ochoa, T. A. H., Bull, K. G. G., Mejía, G. I., Salgado, M. M. V., & Guaderrama, A. M. (2018). Implementación de poka-yoke en herramental para disminución de ppms en estación de ensamble. *Cultura científica y tecnológica*, (64).

Rongzhou, W. (2003, agosto). Device for automatic braking electric sewing machine.

Sandoval, V. (2024). Impacto por retenedor faltante en una pieza fabricada en la empresa textil automotriz. [No publicada].

Zesch, M. K. G. D. W. (2004, febrero). Method and device for controlling the movement of a needle in a sewing machine.