

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|----------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

Implementación de un Sistema Electromecánico que Reduzca las Pérdidas en el Proceso de Pintura en TTS (Túnel De Tratamiento De Superficies) de Autos en Renault Sofasa

Sergio Alexander Betancur Monsalve

Jonathan Andrés Montoya Pérez

Joan David Martínez Ramírez

Asesor:
Wimar Alberto Moreno Silva

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM

Facultad de Ingenierías

Medellín, Colombia

2023

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|----------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

Implementación de un Sistema Electromecánico que Reduzca las Pérdidas en el Proceso de Pintura en TTS (Túnel De Tratamiento De Superficies) de Autos en Renault Sofasa

Sergio Alexander Betancur Monsalve

Jonathan Andrés Montoya Pérez

Joan David Martínez Ramírez

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniería Electromecánica

Asesor:
Wimar Alberto Moreno Silva

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM

Facultad de Ingenierías

Medellín, Colombia

2023

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

Resumen

La constante demanda del sector automotriz obliga a las productoras y ensambladoras a mantenerse competitivos en el mercado; esto se logra reduciendo la cantidad de paros de líneas por fallos en los procesos y subprocesos, ya sea por factor humano o por falta de tecnologías y sistemas que minimicen la posibilidad de error en la operación; otro factor que puede jugar en contra en el hecho de ser competitivo son los defectos de calidad, ya sea por piezas o procesos defectuosos, este último también llevando a paros de líneas los cuales al final representan pérdidas económicas para las empresas o alzas en los precios de los productos para mantener el punto de equilibrio.

El objetivo de este trabajo de grado es describir la metodología para reducir un fallo ocasionado en la línea de pintura de SOFASA, específicamente en el área del TTS (Túnel de tratamiento de superficies), el cual ocasionaba tiempos de paro prolongados por la pérdida de posición de las cabinas al ingreso o salida de los tanques del túnel, las cuales una parte quedaban inmersas en el fondo de los tanques; cuyos procesos de extracción, la misma pérdida de las cabinas y los tiempos de paro simbolizaban un alto impacto económico para la empresa.

Se toman alternativas como cambio del ángulo de inclinación de entrada y salida de las cabinas a los tanques, teniendo como resultado positivo la reducción de cabinas desprendidas pero como resultado negativo la aparición de manchas en las superficies, por lo que al final se opta por un mecanismo que detecta la posición de las cabinas al momento de ingresar o salir de los tanques, mecanismo que inicia como prototipo en una de las etapas y finaliza siendo instalado en cada una de las estaciones del TTS debido a su efectividad

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

Abstrac

In recent years the automotive industry has grown considerably, customer demand for quality, costs and delivery times is much higher. For this reason, the automotive industry is forced to constantly improve its manufacturing processes.

The automotive production process is divided into three stages: welding, painting and assembly. In the painting process, there is a sub-process called surface treatment, this project is aimed at this production sub-process focused on the SOFASA vehicle manufacturing company, where this process is presenting significant production stoppages, affecting quality demands, costs and vehicle delivery times.

In the surface process is the area called TTS tunnel (Surface Treatment Tunnel) in this place the cabins of the vehicles enter so that the vehicles are treated by means of chemical washings and the sheets of the cabins are prepared for the painting processes later.

The main production losses occur when cabins are automatically transported from one tank to another. In this process, collisions of the cabins with the structures of the tanks, the navette and with other cabins can occur. These cars are rejected by the quality process that is governed by the ISO 9001-2008 standard, which is very rigorous because the cabins are destroyed if they are minimally affected, generating large costs for the production and maintenance workshops.

With the knowledge acquired during the engineering, we will seek to solve problems in the automatic process of the TTS, where the vehicles are drastically affected in the bodywork of the cabins. Therefore, an attempt was made to solve these difficulties through the creation of an electromechanical device, which is activated when the cabins are badly positioned in the elevators, stopping the automatic process before the cabins and elements of the TTS are damaged.

Keywords: electromechanical, manufacturing, cabin, surface,

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

Reconocimientos

La realización de este trabajo de grado para la ingeniería electromecánica fue gracias a la ayuda y colaboración del docente Wimar Moreno, quien nos guio adecuadamente en este proyecto y nos enfatizó en que objetivos centrarnos para lograr los resultados obtenidos.

También agradecemos a la industria automotriz SOFASA por permitirnos hacernos cargo de este problema y suministrarnos los materiales necesarios para alcanzar la solución de estos problemas.

Agradecemos también a todas las personas que directa e indirectamente estuvieron apoyándonos en todo nuestro proceso académico apoyándonos para poder llegar a nuestro objetivo de ser ingenieros electromecánicos.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

Acrónimos

AUTOCARRY: Equipo diseñado para trasportar y sumergir las cabinas en los tanques de pintura.

CABINA: Automóvil ya formado con latonería, pero sin ningún accesorio.

CAJA SPROCKETS: Son cajas con un eje y dos piñones de 15 pulgadas de diámetro para una cadena de paso 120.

CARGUE: Segunda posición de los elevadores donde la cabina es recibida o entregada a la navette.

CATAFORESIS: Es el lugar donde se da la primera base de pintura después de realizar el proceso en el TTS.

CENTRADO: Segunda posición de la navette

CENTRADORES: Cilindros neumáticos de doble que posicionan la navette en la posición correcta de centrado.

DEMI: Agua desmineralizada.

ELEVADORE: Sistema electromecánico que desplaza verticalmente las cabinas en el TTS

FEM: Es el lugar en la fábrica donde se le da el color a las cabinas.

HOME: Posición inicial de los elevadores.

LIBERACION: Posición inicial de la navette.

MASTIC: Lugar donde se aplica masilla que impermeabiliza los automóviles con el fin de que no les entre agua del exterior.

NAVETTE: Carro de traslación para trasportar las cabinas de un estado a otro en el TTS.

SURFACER: Segunda base de pintura.

SOFASA: Sociedad de fabricación de automotores S.A.

SKID TTS: Medio en el que la cabina es montada para ser trasportada entre el TTS y CATAFORESIS con el fin de evitar deformaciones en los trasportes.

TTS: Túnel tratamiento de superficies.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|----------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|----------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

Contenido

| | |
|--|----|
| Resumen..... | 3 |
| 1. Introducción | 15 |
| 1.1 Generalidades | 15 |
| 1.2 Planteamiento del Problema | 17 |
| 1.2.2 Problemas encontrados | 23 |
| 1.3 Objetivos | 28 |
| 1.3.1 Objetivo General..... | 28 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 28 |
| 1.4 Alcance y límites | 29 |
| 1.4.1 Alcance | 29 |
| 1.4.2 Limitantes | 29 |
| 2. Marco Teórico..... | 30 |
| 2.1 PLC (Controlador Lógico Programable) | 34 |
| 2.2 Modulo de entradas..... | 36 |
| 2.3 Tipo de red..... | 36 |
| 2.4 Ethernet..... | 40 |
| 2.5 Reveladores..... | 41 |
| 2.5.1 Características importantes de Los relevadores | 41 |
| 2.5.2 Clasificación genérica..... | 42 |
| 2.6 Sensores | 43 |
| 2.6.1 Clasificación | 44 |
| 2.7 HMI | 48 |
| 3. Metodología | 50 |

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

| | |
|--|----|
| 3.1 Proceso de Desarrollo Metodológico..... | 51 |
| 4. Elementos del TTS..... | 52 |
| 4.1 Equipos que componen el TTS..... | 52 |
| 4.1.1 Sistema de Transporte Horizontal..... | 52 |
| 4.1.2 Navette..... | 53 |
| 4.1.3 Motorreductor navette | 54 |
| 4.1.4 Ruedas Navette | 55 |
| 4.1.5 Centraores | 56 |
| 4.2 Sistema de Transporte Vertical..... | 57 |
| 4.2.1 Elevadores..... | 57 |
| 4.2.2 Motorreductor elevadores | 58 |
| 4.2.3 Cardanes elevadores posterior | 59 |
| 4.2.4 Cajas sprockets superiores e inferiores | 60 |
| 4.2.5 Carros de traslación lado izquierdo posterior | 60 |
| 4.2.6 Contrapeso izquierdo anterior..... | 61 |
| 4.2.7 Columnas guías elevadores TTS..... | 62 |
| 4.3 Planos eléctricos | 62 |
| 5. Resultados | 68 |
| 5.1 Ángulo de inclinación..... | 68 |
| 5.1 Diseño de un Sistema Electromecánico para Aumentar la disponibilidad en TTS..... | 68 |
| 5.2 Descripción General de la Propuesta | 68 |
| 5.3 Sistemas Mecánicos..... | 70 |
| 5.3.1 Amortiguador..... | 70 |
| 5.3.2 Soporte de acero en tubo cuadrado | 71 |

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

| | |
|---|----|
| 5.3.3 Eje de rotación..... | 72 |
| 5.3.4 Palanca de activación de sensor..... | 72 |
| 5.4 Sistemas Eléctricos..... | 73 |
| 5.4.1 Modulo entradas y salidas..... | 75 |
| 5.4.2 Sensor inductivo de 3 hilos..... | 75 |
| 5.4.3 Relé..... | 79 |
| 5.4.4 Plano eléctrico..... | 79 |
| 5.5 Programa PLC y HMI..... | 80 |
| 5.6 Cotización de Componentes..... | 85 |
| 5.7 Cronograma de Ejecución Del Proyecto..... | 86 |
| 5.8 Evaluación Económica Del Proyecto..... | 91 |
| Conclusiones..... | 92 |
| Referencias..... | 93 |

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

Tabla de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Proceso del TTS en Sofasa..... | 17 |
| Figura 2 Volcamiento de una de las cabinas de TTS en Sofasa | 18 |
| Figura 3 Destrucción de puertas por desprendimiento de cabinas en Sofasa. | 18 |
| Figura 4 Destrucción de cabinas en Sofasa | 19 |
| Figura 5 Averías en el TTS en los últimos 3 años | 20 |
| Figura 6 Intervenciones de noviembre 2019, realizadas por daños de cabinas en TTS | 21 |
| Figura 7 Horas disponibles vs horas de intervención en el TTS..... | 21 |
| Figura 8 Diagrama Ishikawa pérdidas de producción por daños en cabinas en el TTS entre el 2016 y 2021. | 24 |
| Figura 9 Diagrama Ishikawa daños de piezas y cabinas en el TTS entre el 2016 y 2019 | 25 |
| Figura 10 Promedio de causas de daños de las cabinas en el TTS entre los años 2016 y 2021 | 27 |
| Figura 11 Estructura típica de un sistema automatizado | 30 |
| Figura 12 Cadena de integración tecnológica de un bus de integración..... | 34 |
| Figura 13 Esquema de Autómata Industrial | 36 |
| Figura 14 Pirámide o modelo CIM..... | 38 |
| Figura 15 Ventajas y desventajas red profibus | 39 |
| Figura 16 Evolución red de comunicación | 40 |
| Figura 17 Sensor pasivo y activo..... | 45 |
| Figura 18 Tipos de señales que proporcionan los sensores | 45 |
| Figura 19 Tipos de elementos utilizados en los sensores | 46 |
| Figura 20 Tipos de aplicaciones para los sensores | 47 |
| Figura 21 Sistema de transporte horizontal | 52 |
| Figura 22 Navette | 53 |

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

| | |
|--|----|
| Figura 23 Motorreductor Navette | 54 |
| Figura 24 Ruedas Navette..... | 55 |
| Figura 25 Centraadores..... | 56 |
| Figura 26 Sistema de transporte vertical..... | 57 |
| Figura 27 Motorreductores elevadores | 58 |
| Figura 28 Cardanes elevadores posterior..... | 59 |
| Figura 29 Cajas sprockets superiores e inferiores..... | 60 |
| Figura 30 Carros de traslación lado izquierdo posterior..... | 61 |
| Figura 31 Contrapeso izquierdo anterior | 61 |
| Figura 32 Columnas guías elevadores TTS | 62 |
| Figura 33 Plano eléctrico comandos generales Tablero estado 9 | 63 |
| Figura 34 Plano eléctrico parada de emergencia. Tablero estado 9..... | 64 |
| Figura 35 Plano eléctrico común 24 voltios. Tablero estado 9..... | 65 |
| Figura 36 Plano eléctrico distribución del común de 24 voltios. Tablero estado 9 | 66 |
| Figura 37 Plano eléctrico unifilar variadores TTS. Tablero estado 9 | 67 |
| Figura 38 Túnel del tratamiento estado 6 | 70 |
| Figura 39 Resorte de amortiguación..... | 71 |
| Figura 40 Soporte en tubo cuadrado | 71 |
| Figura 41 Eje de rotación a la estructura | 72 |
| Figura 42 Palanca de accionamiento de sensor | 73 |
| Figura 43 Tablero estado 8 del TTS SOFASA | 74 |
| Figura 44 Tablero eléctrico PLC maestro y monitor del TTS | 74 |
| Figura 45 Tableros de cada estado del TTS..... | 75 |
| Figura 46 Sensor telemecanique XS8D1A1PAM12..... | 76 |

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

| | |
|--|----|
| Figura 47 Especificaciones del sensor telemecanique XS8D1A1PAM12..... | 76 |
| Figura 48 Sensor TURCK Ni75 U-CP80-VP4X2 4 hilos | 77 |
| Figura 49 Especificaciones Conexión de sensor TURCK Ni75 U-CP80-VP4X2..... | 77 |
| Figura 50 Especificaciones del sensor TURCK Ni75 U-CP80-VP4X2 4 hilos | 78 |
| Figura 51 Relé pastilla 24VDC..... | 79 |
| Figura 52 Control por sensor de 3 hilos..... | 79 |
| Figura 53 PLC Allen Bradley 1756 -PA75/A..... | 80 |
| Figura 54 Monitor del TTS..... | 80 |
| Figura 55 Programación del PLC: activa el dispositivo electromecánico mal posicionada | 81 |
| Figura 56 Programación del PLC: cabina mal ubicada y en riesgo de colisión..... | 82 |
| Figura 57 Programación del PLC: detiene las Navettes cuando el dispositivo electromecánico es activado. | 82 |
| Figura 58 Programación del PLC: muestra el bit de parada de los elevadores estado 8. | 83 |
| Figura 59 Programación del PLC: detiene los elevadores cuando el dispositivo electromecánico es activado. | 84 |
| Figura 60 Programación del PLC: tabla de datos de bit para el programa del dispositivo de seguridad electromecánico | 84 |
| Figura 61 Sensores instalados en el estado 8..... | 88 |
| Figura 62 Disponibilidad TTS 2022 | 89 |
| Figura 63 Horas intervenciones TTS Noviembre | 90 |
| Figura 64 Avería después de la instalación de los dispositivos | 90 |

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

Tabla de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Disponibilidad acumulada del TTS en el año 2019 | 22 |
| Tabla 2 Causas de daños en el TTS, entre los años 2016 al 2021. | 26 |
| Tabla 3 Cotización de elementos | 86 |
| Tabla 4 Cronograma de actividades TTS | 87 |
| Tabla 6 Disponibilidad TTS | 89 |

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

1. Introducción

1.1 Generalidades

La competitividad en la industria automotriz obliga a las diferentes marcas a mantenerse en el mercado, ya sea por innovación, respaldo, tecnología o buenos precios; este último se logra disminuyendo al máximo los defectos de calidad tanto en el proceso productivo como en la posventa, dicho aspecto se debe tratar con un buen plan de calidad donde se abarque un seguimiento amplio y riguroso en los procesos productivos y en la inspección de piezas de ensamble.

Estableciendo y controlando el plan de calidad de manera satisfactoria, se pueden direccionar los esfuerzos a la demanda y modernización de los productos y procesos, logrando garantizar la permanencia en la competencia que este sector refleja.

La industria RENAULT es una compañía multinacional dedicada a la fabricación y venta de vehículos, con sede principal en Francia; cuenta con presencia en varios países a nivel mundial entre ellos Colombia, Antioquia, Envigado. La ensambladora de estudio desarrolla diversos procesos de fabricación de vehículos. El proceso de fabricación de vehículos se divide en tres etapas: soldadura, pintura y ensamble. Todo este proceso se realiza en línea por lo que el objetivo principal de este tipo de empresas es reducir, incluso eliminar fallas para evitar retrasos en la producción que en última instancia representan sobre costos debido a reprocesos o devoluciones por calidad.

El propósito de este trabajo de grado consiste en encontrar solución a los problemas que influyen en la planta de pintura, describiendo el proceso completo del túnel de tratamiento de superficies con el fin de determinar las variables que afectan el proceso, y también se realiza la propuesta de mejora en la automatización, con un dispositivo que mejore la confiabilidad del proceso en esta área tan crítica en la fabricación de vehículos.

Se desarrollarán varias etapas. Inicialmente se hará una descripción del sistema explicando cada una de sus partes y dando al lector una idea clara de cómo es el funcionamiento del mismo, luego se hará la

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

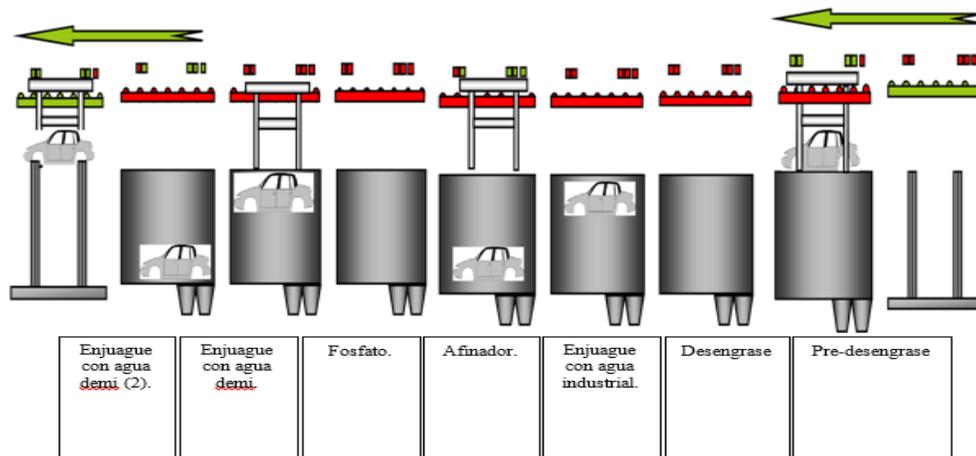
modelación del sistema actual para identificar las variables que generan la problemática del mismo, y por último, se modelará el sistema diseñado para simularlo y determinar así las ventajas de implementar dicho diseño.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

1.2 Planteamiento del Problema

Cada parte del proceso de pintura va articulado en cada uno de los subprocesos, por lo tanto, la interrupción en cualquiera de estos representa un cese completo en toda la línea de producción de SOFASA; cada 4 min de interrupción en la planta representa un carro que se deja de vender, representando grandes pérdidas económicas para la compañía.

Al momento de sumergir las cabinas en los tanques, se genera un vacío donde en muchas ocasiones ocurre el desprendimiento de las cabinas de su posición en los skids, ocasionando volcamientos con la estructura que rodea los tanques al momento de salir la cabina; generando interrupciones prolongadas en la línea general de producción y pérdidas por piezas, donde algunas de estas son reemplazables (Figura 2) y otras son pérdidas totales (Figura 3 y Figura 4).



*Figura 1 Proceso del TTS en Sofasa
Figura tomada de los planos del sistema-Proceso de TTS en Sofasa*

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |



*Figura 2 Volcamiento de una de las cabinas de TTS en Sofasa
Autoría propia*



*Figura 3 Destrucción de puertas por desprendimiento de cabinas en Sofasa.
Autoría propia*

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |



*Figura 4 Destrucción de cabinas en Sofasa
Autoría propia*

Las pérdidas en el TTS han sido significativas; en los últimos tres años se han producido 49 averías en piezas y 35 cabinas destruidas (Figura 5). Con los nuevos modelos de vehículos, las horas de intervención han aumentado por día (

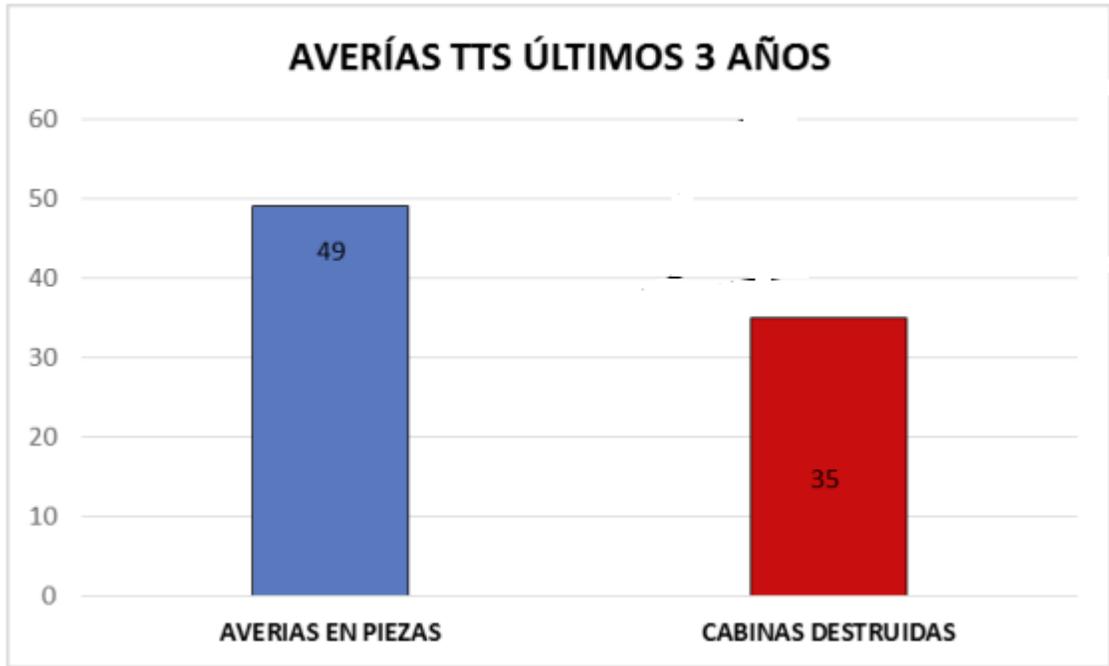
Figura 6), mientras que la disponibilidad es baja (

Figura 7) con todo esto la disponibilidad del TTS en el 2019 es muy baja llegando solo a un 86.07 por ciento (

Tabla 1).

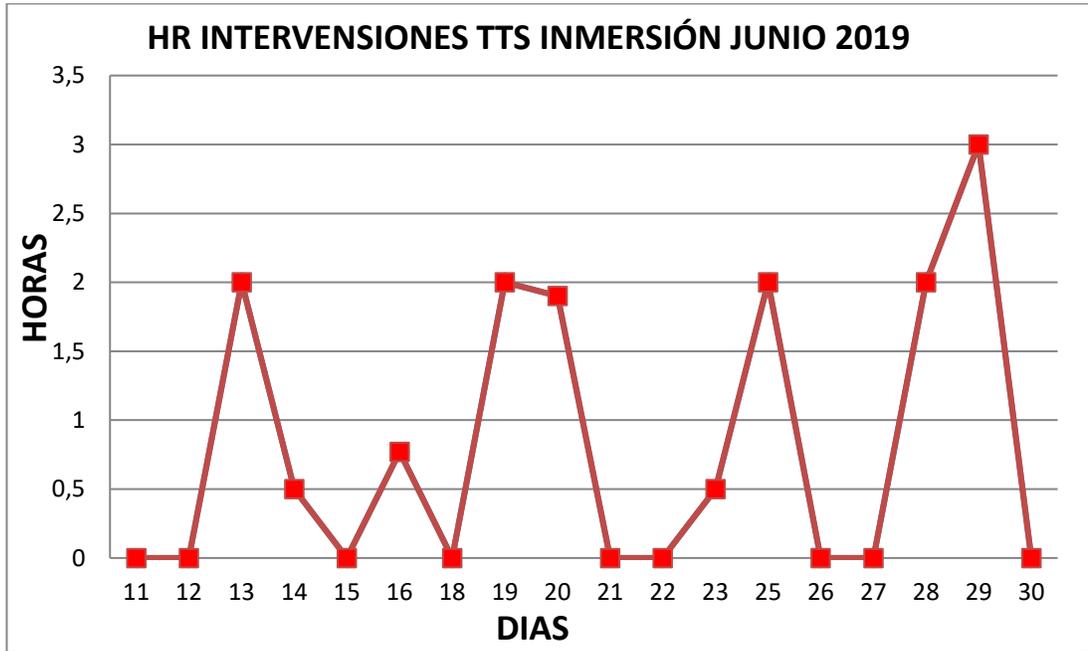
| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

MAGNITUD

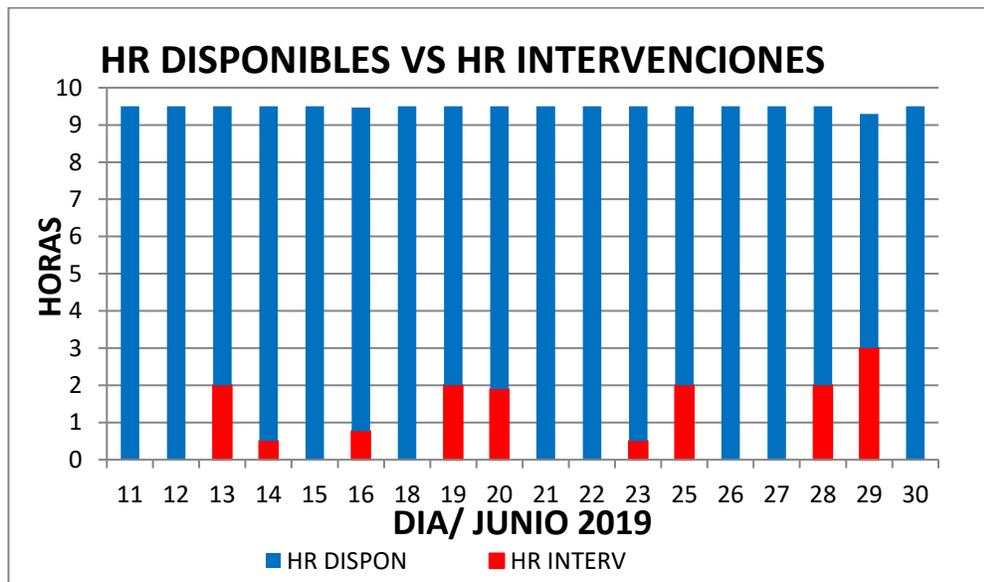


*Figura 5 Averías en el TTS en los últimos 3 años
Autoría propia*

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |



*Figura 6 Intervenciones de noviembre 2019, realizadas por daños de cabinas en TTS
Autoría propia*



*Figura 7 Horas disponibles vs horas de intervención en el TTS
Autoría propia*

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

| MES | DISPONIBILIDAD AD |
|--------------------------------|----------------------|
| jun-19 | 84,33% |
| jul-19 | 84,28% |
| 1/08/20219 | 85,89% |
| sep-19 | 86,90% |
| oct-19 | 89,03% |
| nov-19 | 87,20% |
| dic-19 | 86,07% |
| Disponibilidad TTS 2019 | 86,24% |

Tabla 1 Disponibilidad acumulada del TTS en el año 2019

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

1.2.2 Problemas encontrados

El túnel de tratamiento es uno de los cuellos de botella en la industria automotriz, debido a que es un segmento que no tiene alguna unidad de reserva en caso de averías o mantenimiento; esto debido al volumen que ocupa y por ser demasiado costoso la fabricación de otro. Sabiendo que los paros de producción en esta industria son demasiados costosos y más en la actualidad con la falta de vehículos en los concesionarios por causa de la recesión vivida en pandemia, es sumamente importante garantizar una mayor disponibilidad y eficacia en el TTS.

Buscando dar solución a la baja eficacia y disponibilidad se estudiaron los diferentes fallos que se han presentado en el túnel de tratamiento, llegando a las siguientes conclusiones planteadas en el Diagrama Ishikawa pérdidas de producción por daños en cabinas en el TTS entre los años 2016 y 2021 (Figura 8) y Diagrama Ishikawa daños de piezas y cabinas en el TTS entre los años 2016 y 2019 (Figura 9):

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

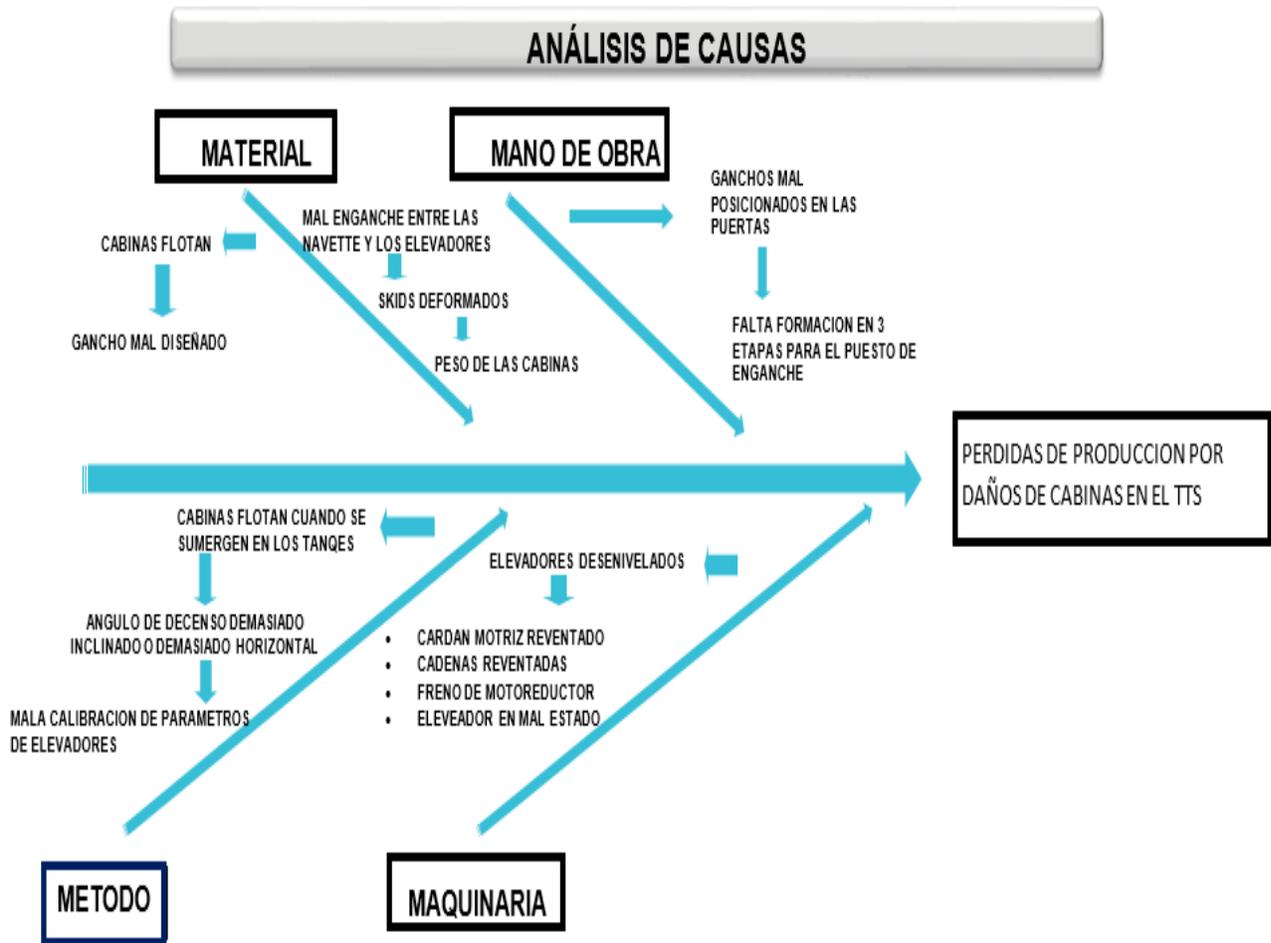


Figura 8 Diagrama Ishikawa pérdidas de producción por daños en cabinas en el TTS entre el 2016 y 2021.

| | | | |
|--|---|---------|----------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

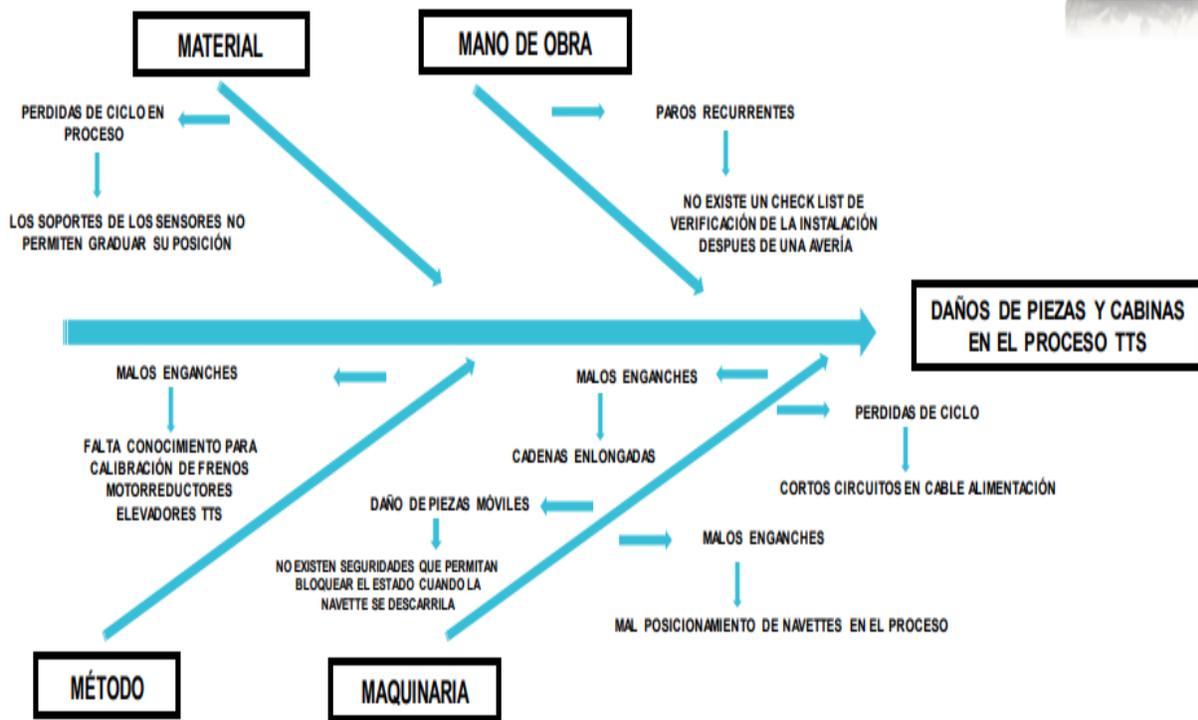


Figura 9 Diagrama Ishikawa daños de piezas y cabinas en el TTS entre el 2016 y 2019

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

Analizando las fallas ocasionadas durante los últimos años en el TTS (figuras 8 y 9), se obtienen los siguientes datos:

CAUSAS DE DAÑOS CABINAS EN TTS

| CAUSAS | PORCENTAJE | TIEMPO DE INTERVENCION MENSUAL | DAÑOS EN CABINAS | FALLOS |
|-------------------------|-------------|--------------------------------|---------------------------------------|---|
| Puertas abiertas | 5% | 72 minutos | Daños en puertas y estribos | Los operarios no colocan los ganchos de las puertas |
| Cabinas flotan | 45% | 640 minutos | Daños de piezas y perdidas de cabinas | Los ganchos que aseguran las cabinas a los skid se montan mal |
| Mal enganche | 15% | 216 minutos | Daño total de la cabina | Los skid están deformados por el peso de las cabinas |
| Cabinas flotan | 25% | 360 minutos | Daño total de la cabina | Mala calibración de parámetro de descenso |
| Elevadores desnivelados | 10% | 144 minutos | tiempo de paro | Cardan o cadena reventado y freno del motor en mal estado |
| TOTAL | 100% | 1432 minutos | | |

Tabla 2 Causas de daños en el TTS, entre los años 2016 al 2021.

Los fallos observados en la

Tabla 2, son promedios de los años 2016 al 2021, de la cual se grafican las 5 fallas más comunes en el túnel de tratamiento (Figura 10).

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

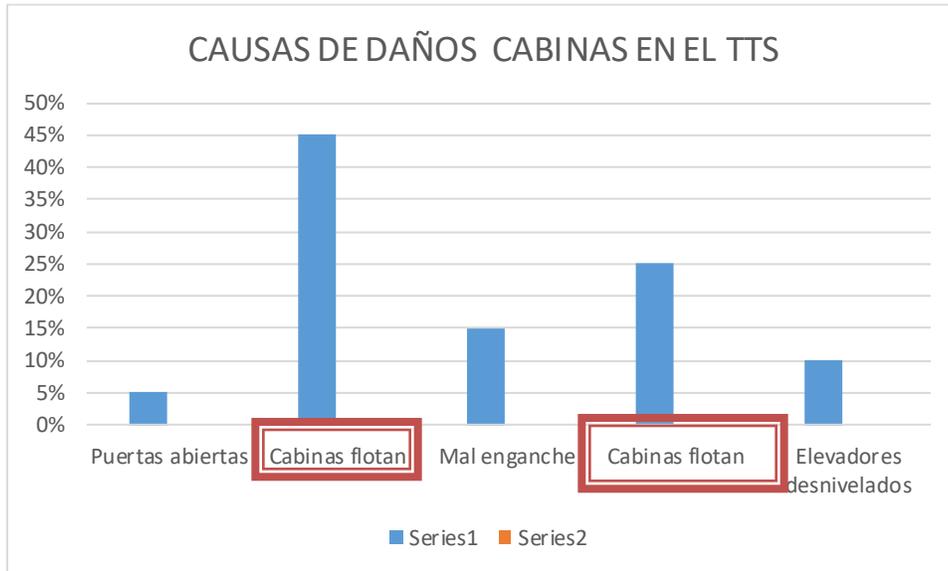


Figura 10 Promedio de causas de daños de las cabinas en el TTS entre los años 2016 y 2021

Al analizar las fallas (Figura 10), se observa que el 45 % son por cabinas que flotan, causados por que estas no emergen y se sumergen en un ángulo adecuado o por errores en la operación al no posicionar adecuadamente los ganchos que aseguran las cabinas a los skids.

Además, cuando ganchos de las puertas se ubican mal en las cabinas, estas al momento de sumergirse se abren y se dañan destrozando las puertas o las cabinas, casi siempre dando como resultado la pérdida total de la carrocería.

Por lo tanto, se inician planes de acción donde se abarca la identificación de las causas principales de los fallos y se generan diversos planes de acción pasando por la capacitación de los operarios como la modificación de parámetros de ingreso y salida de las cabinas hasta llegar una solución efectiva

Además, los errores de los operarios son difíciles de evitar, por esta razón es necesario analizar las posibles mejoras en la automatización del TTS que sirva como apoyo para evitar los posibles daños que se generen en los tanques del TTS.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Prevenir las interrupciones en los subprocesos de pintura en el Túnel de tratamiento de superficies (TTS) en SOFASA, por medio del diseño de un dispositivo electromecánico.

1.3.2 Objetivos específicos

Describir el proceso actual de tratamiento de superficies que permita la identificación de variables, que intervienen para la función de cada componente del sistema con sus características.

Diseñar un sistema electromecánico que detenga el proceso, si la cabina está en riesgo de colisión, el cual reduzca las pérdidas de producción en esta área hasta en un 90 por ciento.

Validar la viabilidad de la propuesta de automatización diseñada, partiendo de la modelación del sistema de control propuesto en las situaciones comunes en los diferentes procesos del TTS.

Realizar la evaluación económica del proyecto midiendo la relación costo – beneficio.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

1.4 Alcance y límites

1.4.1 Alcance

En este trabajo de grado se realizará la automatización de un proceso de pintura en el túnel de tratamiento de superficies de la empresa SOFASA S.A, y en el desarrollo de este, se mejorará proceso de la línea a través de un sistema de control electromecánico que evitará un mal posicionamiento de las cabinas. Como etapa final, se realizará la automatización de manera digital en la que contará con el modelado del proceso, el nuevo diseño del sistema con planos eléctricos y el montaje en el proceso de pintura en el TTS.

1.4.2 Limitantes

En el desarrollo de este trabajo de grado se presentan algunos inconvenientes que interfieren en el buen desarrollo de este, debido a la dificultad para registrar datos en el proceso ya que este se debe hacer en tiempos de paro, pues la producción es constante y solo se tendría disponibilidad del sistema un día a la semana. Otro limitante, es la autorización y validación de los entes de planeación y compras para dar el aval a la ejecución del proyecto. Adicionalmente, los recursos tecnológicos son otra limitante para la programación del PLC debido a la falta de módulos de salida que envían las señales que se diseñaran en este trabajo; finalmente factores como: los permisos otorgados por la compañía, el ambiente altamente agresivo donde ocurre el problema y no tener los recursos físicos necesarios.

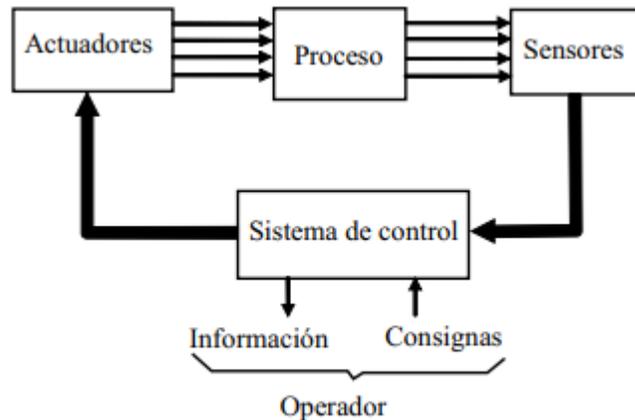
| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

2. Marco Teórico

Se pretende en el marco teórico, profundizar con estudios, teoría, aportes y fundamentación acerca de las automatizaciones en procesos industriales; esto se debe a que en el momento de revisión de la literatura acerca del túnel de tratamiento de superficies no se encontró documentación de casos similares en ese sentido,

La automatización según Agudelo, Tano y Vargas (2020) es la tecnología para realizar tareas con muy poca intervención humana, en el mundo industrial se le conoce como un sistema que permite a las máquinas desarrollar determinados procesos o realizar tareas sin intervención humana.

Al respecto, Sanchis, Romero y Vicent (2010, p.6) indican el inicio de la automatización como la capacidad de una máquina o proceso automatizado para responder de manera independiente sin la intervención del operador y tomar las medidas adecuadas para lograr su función prevista antes de que ocurran los cambios, de acuerdo, a la Figura 11, donde se muestra la estructura típica de un sistema automatizado.



*Figura 11 Estructura típica de un sistema automatizado
Tomado de Sanchis, Romero y Vicent (2010, p.6).*

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

Ideas como esta, son las que ha llevado a un crecimiento exponencial en las industrias. Desde el inicio la humanidad se diseñaron sistemas automáticos como las trampas para cazar animales. Y máquinas simples reducen la cantidad de fuerza que los humanos tienen que ejercer. Con el tiempo, las fuentes de energía animal o humana comienzan a ser reemplazadas por fuentes de energía renovables como lo establece Agudelo, Tano y Vargas (2020, p.1).

Este tipo de mejora es importante en el desarrollo de la humanidad, ya que hace al ser humano enfocarse en problemáticas distintas después de solucionar las que suplen las necesidades básicas; del mismo modo, mejora la calidad de vida, los procesos y productos, reduce costos y flexibiliza sus sistemas.

Otros autores como Córdoba (2006, p.121) definen el concepto de automatización como: “acometer el diseño del proyecto de automatización implica desenvolverse en un fuerte escenario de presión que es dimensionado de un lado, por la variable de ser oportuno y de otro lado, ser competitivo en términos de calidad y precio”. En el contexto de la ciencia y la ingeniería, se sugiere que la investigación en automatización enfatiza la eficiencia, la productividad, la calidad y la confiabilidad, centrándose en los sistemas que operan de manera autónoma, a menudo en entornos estructurados durante períodos prolongados, y en la estructuración explícita de dichos entornos. Aspecto que ratifica Córdoba (2006) cuando menciona que el principal objetivo técnico y productivo de la automatización es la configuración de sistemas tecnológicos para lograr una alta productividad y calidad.

La automatización de secuencias requiere una atención especial porque es un sistema donde las funciones usan pasos separados de acuerdo con reglas predeterminadas. En el caso más simple, el final de cada fase detectado por el sensor correspondiente difiere del comienzo de la siguiente fase. De acuerdo, a Moreno (2001), “las condiciones de transición entre etapas son condiciones lógicas más o menos complejas que provocan cambios en el estado de la planta”. La automatización de secuencias puede funcionar en base a lógica dura, especialmente con los llamados gabinetes de relés, que han sido los más utilizados en muchas

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

plantas industriales de la historia reciente, un programa almacenado por una computadora, un controlador programable o un sistema basado en un microprocesador.

El propósito de este proyecto es optimizar la disponibilidad en el TTS y al mismo tiempo, mantener y mejorar la eficiencia, productividad y calidad que estará reflejado en el producto final. Con la ayuda de la automatización se busca fortalecer estos ítems que permita disminuir los paros de línea y garantizar la inocuidad de las láminas de los vehículos. Ahora bien, un autor que aporta a la investigación es Mejía (2009), aborda en su artículo aspectos relacionados con la fabricación de equipos, desarrollo de software e implementación de las soluciones en la industria desde la aplicaciones con controladores lógicos programables y variadores de velocidad donde presenta la cadena de integración tecnológica, aspecto que se vincula con el presente trabajo en la búsqueda de sistema de control para comunicar los equipos sin que trabajen de manera aislada.

Ahora en la actualidad es inconcebible un proceso productivo moderno que no tenga presencia de la automatización, para la cual se destaca en este proyecto, la utilización de sensores, suiches de seguridad, controles lógicos programables, cómo se observa en la Figura 11, que pueden dar garantía de los correctos funcionamientos en operaciones y sistemas que ayuden a la eficiencia y eficacia de la empresa, reduciendo costes en la operación y brindándole estandarización a la línea de proceso de pinturas.

En el trabajo de grado titulado “automatización e implementación de sistema de alarma y paro de maquina selladora de cargaderas” de Londoño (2016), sirvió de base para la enfatización de los recursos programables en la automatización de este proyecto, se expone como parte importante la utilización de automatismos de programación que ayudan de una manera más confiable la ejecución de mejoras en procesos en línea que requieren de mucha eficiencia y eficacia, como en este caso con el TTS de SOFASA, donde se requiere evitar pérdidas de tiempo innecesarias que se convierten en dinero y que de manera más fácil y confiable se pueden controlar acertadamente durante la operación con el manejo del software y

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

pantallas HDMI, que pueden generar alarmas de fallas o inconsistencias en el proceso y se pueden corregir sin necesidad de tener que parar la línea o generarse daños en las cabinas de los autos (p. 12).

S. Pink et al. (2018) refiriéndose al contexto de la ciencia y la ingeniería, sugiere que "la investigación en automatización enfatiza la eficiencia, la productividad, la calidad y la confiabilidad, centrándose en los sistemas que operan de manera autónoma, a menudo en entornos estructurados durante períodos prolongados, y en la estructuración explícita de dichos entornos". En la industria en general la automatización va de la mano de la eficiencia, confiabilidad y la disponibilidad.

Seguidamente otro autor que aporta a la investigación es Mejía (2009) quien trabaja en su artículo *Introducción a las comunicaciones industriales con profibus: aplicaciones con controladores lógicos programables y variadores de velocidad*, las aplicaciones con controladores lógicos programables y variadores de velocidad donde presenta la cadena de integración tecnológica, la cual es compuesta por fabricación de equipos, desarrollo de software e implementación de las soluciones en la industria, que van muy de la mano a este proyecto que busca sacarle el máximo provecho al sistema de control para comunicar los equipos y no tenerlos trabajando de manera aislada generando perdidas o fallos que afecten los procesos.

En la evolución de la automatización industrial, las redes de comunicación forman parte fundamental del proceso con capacidades aptas para realizar transferencias de información en forma eficiente y confiable, generando informaciones que lleguen de manera oportuna, sin interferencias incluyendo cualquier tipo de distancias a cada uno de los componentes que intervienen en los procesos de control. La fuente de comunicación Profibus para el transporte de información que maneja SOFASA tiene como finalidad la tercera parte de la cadena de integración tecnológica ya mencionada que termina con la solución que los procesos necesitan para fluir confiablemente, se escoge como plataforma de comunicación industrial por razones de transparencia que no afectan el funcionamiento interno de la estructura de los datos relacionados con la programación de los PLC, las pantallas HDMI y del proceso como tal.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |



*Figura 12 Cadena de integración tecnológica de un bus de integración.
Tomado de Mejía Arango, Juan Guillermo (fondo Editorial ITM, 2009)*

Para dar a entender un poco más el funcionamiento de las herramientas que se utilizan en este proyecto se dará a entender un poco más de las herramientas utilizadas para esta automatización.

2.1 PLC (Controlador Lógico Programable)

El principal elemento para que se utilizará para evitar los paros de línea en el TTS, es el PLC (controlador lógico programable), según Antúnez (2016) en el libro puesta en marcha de sistemas de automatización industrial desde 1968 apareció el primer programable controller (programador programable) o PC, como propuesta de remplazo electrónico de sistemas de lógica cableada cuya programación era realizada por personas con nivel medio de formación en electricidad, empleando un método basado en diagramas eléctricos utilizados en automatización industrial, y mediante el uso de ordenadores industriales, hasta hoy, el autómeta programable ha ido evolucionando gracias a los avances producidos en el campo de la electrónica, ofreciendo día a día mayores prestaciones.

El controlador lógico programable que se empleará debe de cumplir las siguientes características: a) fácil de programar; b) cambiar la programación sin la intervención del operario (sin tener que rehacer el

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

cableado interno); c) más económico y eficiente que la instalación de lógica cableada; y d) bajos costos de mantenimiento.

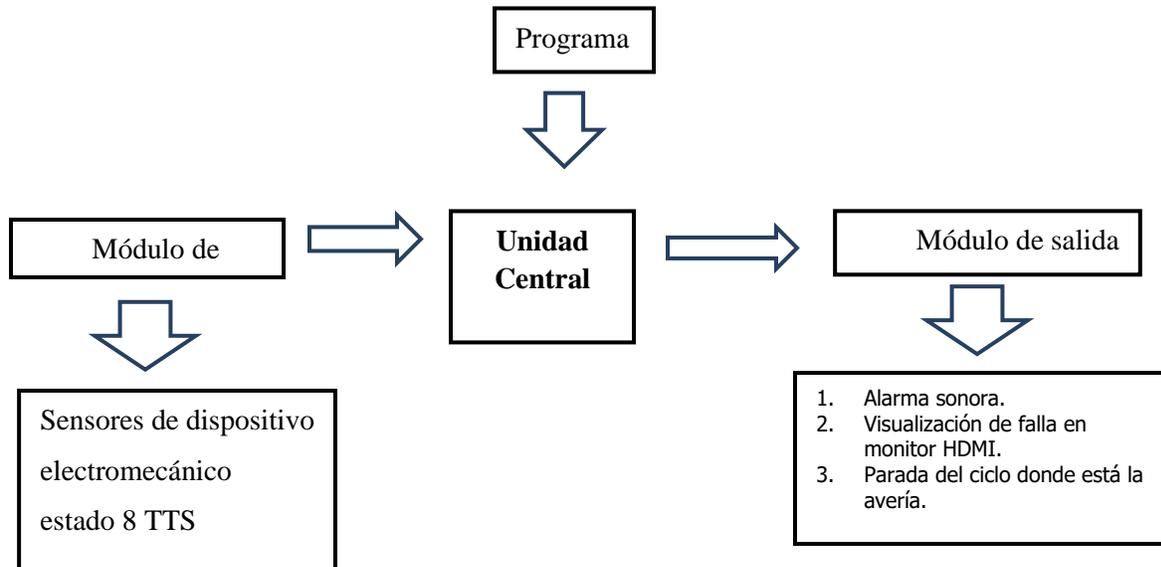
Para este caso se utilizará un PLC Allan Bradley referencia; el cual ya estaba siendo utilizado en la automatización del TTS por lo que solo se tuvo que añadir algunos módulos de entrada en cada uno de los gabinetes de los estados. Basado en lo anterior se quiere agregar que la estructura del autómata industrial según Antúnez (2016) “se refiere a los aspectos constructivos que determinan el propio autómata como producto físico”, considerando la estructura como el conjunto formado de lo que hay al interior, con lo que lo rodea. De esta forma se definirán expresiones como estructura interna y estructura externa.

Un autómata industrial está formado por los siguientes bloques funcionales básicos.

- Unidad central (UC): Formado por el procesador y la memoria
- Interfaz o módulo de entradas y salidas

Figura 13.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |



*Figura 13 Esquema de Autómata Industrial
Elaboración propia*

2.2 Modulo de entradas

El comportamiento de las entradas y salidas es parecido al que se realiza en lógica cableada por medio de relevos la diferencia está en que el PLC, el programa es almacenado en una memoria electrónica reemplazando el cableado del sistema por relés.

2.3 Tipo de red

Las comunicaciones industriales son aquellas que permiten el flujo de información del controlador a los diferentes dispositivos a lo largo del proceso de producción: detectores, actuadores, sensores entre otros (Salazar et al., 2011). También nos indica McFarlane (1997) que los procesos de manufactura, para aumentar su productividad, requieren de sensores y actuadores ligados a sistemas informáticos para que estos a su vez retroalimenten las condiciones del proceso automáticamente.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

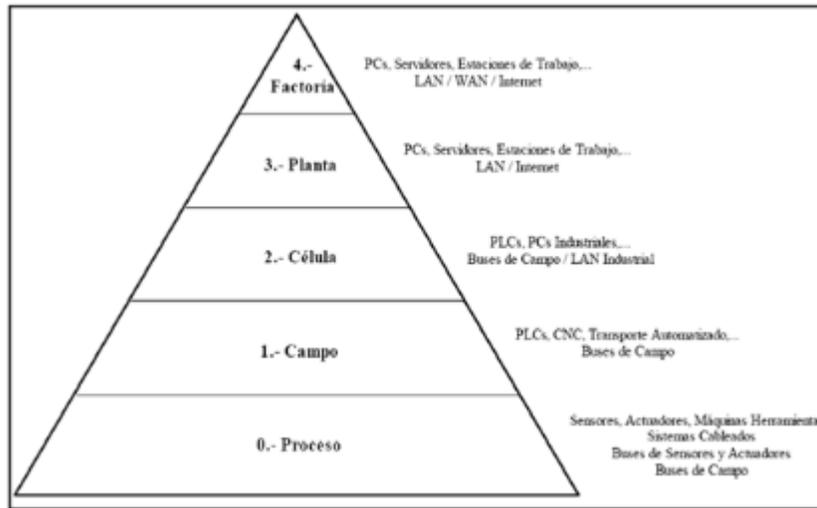
Dado a esto y a la gran variedad de sistema de comunicación entre equipos industriales se ha optado por implementar algún sistema de protocolo en un sistema de comunicación completo con el conocido modelo CIM. (Computer Integrated Manufacturing). Como dice Salazar et al., (2011). Ethernet ha tenido un profundo impacto en la industria debido a sus capacidades para control de planta y datos de oficina. Caicedo et al., (2015) refiere la información manejada por los instrumentos de proceso y por los sistemas de control son normalizadas por SAMA (Scientific Apparatus Makers Association), en sus inicios con señales análogas: neumáticas 3 a 15 psi y electrónicas 4 a 20 mAcc hasta llegar al fieldbus que es un estándar en redes multifuncionales.

Complementa Creus (1998) que utilizándose para transmitir secuencialmente esta serie de señales, el bus que es un cable de comunicación, que ha permitido optimizar diferentes recursos en los procesos automatizados.

Se puede decir de la pirámide o modelo CIM, de acuerdo a Rodríguez (2007) que es una red industrial las comunicaciones se agrupan jerárquicamente en función de la información; cada subsistema debe tener comunicación directa con los subsistemas del mismo nivel y los niveles, superior e inferior. Así aparecen cinco niveles (Figura 14).

La información manejada por los instrumentos de proceso y por los sistemas de control son normalizadas por SAMA (Scientific Apparatus Makers Association), en sus inicios con señales análogas: neumáticas 3 a 15 psi y electrónicas 4 a 20 mAcc hasta llegar al fieldbus que es un estándar en redes multifuncionales utilizándose para transmitir secuencialmente esta serie de señales, el bus que es un cable de comunicación, que ha permitido optimizar diferentes recursos en los procesos automatizados (Creus, 1998).

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |



*Figura 14 Pirámide o modelo CIM
Tomado de Rodríguez, 2007*

La tecnología fieldbus (bus de campo) es un protocolo de comunicaciones digital de alta velocidad que está creado para remplazar la clásica señal de 4-20 mA que aún se utiliza en muchos de los sistemas (Salazar et al., 2011)

Define Caicedo et al. (2015) que, para el intercambio de datos, es requerida una serie de circuitos y conductores que hacen parte de la red industrial. Existen diferentes conexiones, el bus transmite datos en modo serial y posee por lo general más usuarios a diferencia con el punto a punto, donde sólo dos dispositivos se comunican.

Así mismo, indica Salazar et al., (2011) que estas son las ventajas de los profibus acerca de los demás sistemas.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

| Servicios que debe proporcionar | Ventajas respecto a otros sistemas de comunicación |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Respuesta rápida a mensajes cortos. • Alta fiabilidad del método de señalización y del medio. • Una red mantenible y ampliable por el personal de la planta. • Una red que pueda ser conectada al sistema de comunicaciones principal de la empresa. • Conectividad a diferentes componentes de distintas marcas. | <ul style="list-style-type: none"> • Reducción del cableado. • Mayor precisión. • Diagnóstico de los instrumentos de campo. • Transmisión digital. • Calibración remota. • Mecanismos fiables de certificación. • Reducción del ciclo de puesta en marcha de un sistema. • Operación en tiempo real. |

*Figura 15 Ventajas y desventajas red profibus
Tomado de Salazar et al., (2011).*

Seguidamente Caicedo et al., (2012) presenta según sus apreciaciones las ventajas y desventajas del sistema Profibus a saber. Como ventajas identifica: a) el intercambio se lleva a cabo por medio de un mecanismo estándar; flexibilidad de extensión; b) conexión de módulos diferentes en una misma línea; c) posibilidad de conexión de dispositivos de diferentes procedencias; d) distancias operativas superiores al cableado tradicional; e) reducción masiva de cables y costo asociado; f) simplificación de la puesta en servicio y como desventajas de un bus de campo: a) necesidad de conocimientos superiores; b) inversión de instrumentación y accesorios de diagnóstico; c) costos globales inicialmente superiores.

El modo más sencillo de comunicación con el bus es el sondeo cliente/servidor, pero aún más eficiente pero también más costoso es el Token bus (IEEE Computer Society, 2001).

En la empresa Sofasa se utiliza una red Profibus que según (PI, 2010) define es el estándar europeo en tecnología de buses, se encuentra jerárquicamente por encima de ASI y BITBUS, trabaja según procedimiento híbrido Token passing, dispone de 31 participantes hasta un máximo de 127. Su paquete puede transmitir un máximo de 246 bytes, y el ciclo para 31 participantes es de aproximadamente 90 ms. Alcanza una distancia de hasta 22300 m.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

Lo que indica Kashel et al. (2002) al referirse a las redes, cuando afirma que se distinguen por la forma como manejan el tamaño del mensaje y el tiempo de respuesta. En general, estas redes conectan dispositivos inteligentes en una sola red distribuida, como lo complementa Caicedo et al. (2003). Estas redes ofrecen altos niveles de diagnóstico y capacidad de configuración, generalmente al nivel del poder de procesamiento de los dispositivos más inteligentes. Son las redes más sofisticadas que trabajan con control distribuido real entre dispositivos inteligentes, tal es el caso de Fieldbus Foundation (2006). Comúnmente dichas redes incluyen en los dispositivos y buses de campo. Muñoz (2007) muestra en la figura 16, la evolución que ha tenido la red de comunicación a través de los años.

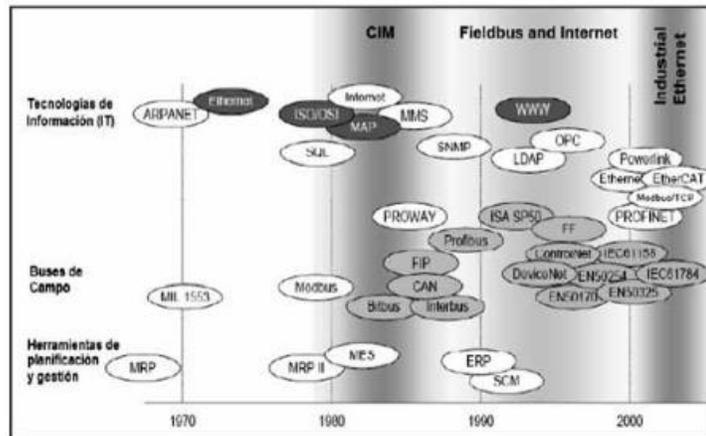


Figura 16 Evolución red de comunicación
Tomado de Muñoz (2007)

2.4 Ethernet

Según Salazar et al. (2011) y Ethernet (2010), es un estándar que especifica la construcción y funciones de redes abiertas para transmisión de datos accesibles según el proceso CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) ampliamente utilizado en el ambiente de oficinas y nos define la norma IEEE 802.3 basada en la Ethernet se ha convertido en el método más extendido para interconexión de computadores personales en redes de proceso de datos. Refiere también Caicedo et al. (2003). En la actualidad, se vive una auténtica revolución en cuanto a su desplazamiento hacia las redes industriales. Es

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

indudable esa penetración de diversos buses de campo establecidos como Profibus y Modbus han adoptado Ethernet como la red apropiada para los niveles superiores.

2.5 Reveladores

Otro aspecto importante a considerar en la protección por relevadores de cualquier sistema eléctrico es intentar establecer una definición de lo que significa “protección por relevadores” antes de iniciar cualquier planteamiento sobre la filosofía de la protección. Enríquez (2002) define en general, que un relé de protección se refiere a un dispositivo o sistema de dispositivos específico que mide y compara las cantidades del sistema eléctrico e inicia las acciones necesarias para aislar los componentes defectuosos del sistema eléctrico. Esta definición se observa que cuando se habla de relevadores de potencia, se está hablando de algo más que los relevadores mismos, ya que los sistemas de protección por relevadores indica Enríquez (2002), incluyen desde luego a los relevadores, los dispositivos sensores y los elementos auxiliares de suministro de corriente directa.

Los sistemas de protección por relevadores se deben diseñar para detectar cualquier condición anormal que existe en el sistema y ejecutar alguna acción para corregir la situación. Los relevadores normalmente, responden a las enmiendas de voltajes, corrientes o frecuencias del sistema y la acción instantánea entre ellas. No únicamente se refieren a los cambios de magnitud y dirección, coma también al índice de cambio de estas cantidades. En general, la condición más radical y anormal que causan cambios en estas cantidades resulta el caso más simple, detectar.

2.5.1 Características importantes de Los relevadores

Dado que los relevadores constituyen el principal elemento de protección y los sistemas eléctricos, deben cumplir con ciertas exigencias funcionales entre las que se pueden mencionar las siguientes:

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|----------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

1. El relevador debe ser insensible a las sobretensiones momentáneas y también a las sobrecargas momentáneas.
2. El relevador no debe alterar su operación por variaciones en la tensión y la corriente.
3. El consumo propio de potencia, el relevador debe ser tan bajo como sea posible.
4. Su funcionamiento no debe ser alterado por cambios en la Configuración de la red considerados como normales, como son: conexión y desconexión de cargas, entrada y salida de líneas, ETC.
5. El relevador debe operar cualquiera que sea la naturaleza y situación de la falla, para la cual ha sido seleccionado.

Las magnitudes a las que los relevadores de protección son sensibles para detectar la presencia de fallas son, por lo general las siguientes: a) aumento en la intensidad de la corriente; b) caída de tensión; c) disminución en la Impedancia aparente; d) inversión en el sentido de la potencia; e) comparación y la magnitud de la corriente de entrada y salida o bien comparación de la fase.

2.5.2 Clasificación genérica

De acuerdo con la magnitud eléctrica que miden o controlan, los relevadores se pueden clasificar genéricamente como:

1. Relevadores de corriente: Estos actúan por la acción de la intensidad de la corriente que circula a través de ellos, razón por la que también se conocen como relevadores de tipo amperímetro y pueden ser de máxima corriente en cuyo caso operan cuando la corriente del elemento protegido excede un cierto valor previamente establecido o de un mínimo de corriente que operan cuando el

| | | | |
|--|--|---------|----------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

valor de la corriente en el sistema protegido se encuentran debajo de un cierto valor también previamente establecido.

2. Relevadores de voltaje: Este tipo opera bajo el principio de voltímetro y actúan por la acción del voltaje al cual serán sometidos, son de máxima tensión cuando operan a alcanzar la tensión un valor superior al previamente fijado y de mínima tensión cuando operan si la atención se encuentra debajo de un valor previamente fijado.
3. Relevadores de consiente: Este tipo ópera cuando el cociente de 2 magnitudes eléctricas por lo general voltaje y corriente llega a cierto valor previamente fijado, a este tipo corresponden los denominados relevadores de mínima impedancia que actúan cuando la impedancia del relevador dada por la relación $Z= V/I$ se encuentran por debajo del valor prefijado.
4. Relevadores de frecuencia: Estos operan cuando el valor de la frecuencia en el sistema, el cual se encuentran conectados, varía con relación a una cantidad previamente establecida, dada la característica operativa de estos relevadores. Por lo general, son de tipo inducción.
5. Relevadores diferenciales: Este tipo de relevador opera, como su nombre lo indica, cuando la diferencia entre dos o más cantidades eléctricas del mismo tipo (dos Corrientes, dos voltajes, etc.) excede un valor previamente fijado.
6. Relevadores de producto: Estos reguladores actúan bajo la acción del producto de dos cantidades eléctricas, generalmente voltaje y corriente, por lo que se conocen también como relevadores tipo vatímetro.

2.6 Sensores

De acuerdo con la guía práctica de sensores de Serna et al. (2010), los sensores imitan la capacidad de percepción de los seres humanos, por ello es cada vez más usual encontrarlos incorporados a cualquier área

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

tecnológica. Debido a esta característica de imitar la percepción humana, se pueden encontrar sensores relacionados con los diferentes sentidos: vista, oído, tacto; es decir que reaccionan a la luz, el sonido, el contacto, un sonido. De igual manera que el cerebro reacciona a la información que percibe de los sentidos, los dispositivos que incorporan sensores reaccionarán a la información que reciben de ellos. Los sensores son por tanto dispositivos electrónicos que permiten interactuar con el entorno, de forma que proporcionan información de ciertas variables que hay en el entorno para poder procesarlas y así generar órdenes o activar procesos.

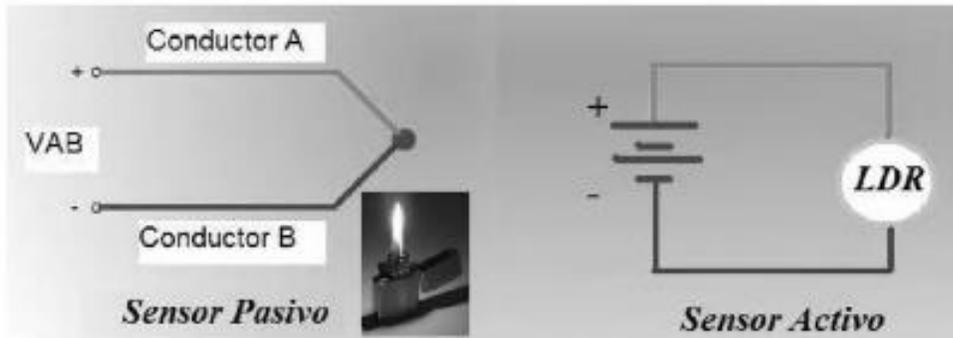
2.6.1 Clasificación

Dada la gran cantidad de sensores que existen, se hace necesario clasificarlos para así poder entender mejor su naturaleza y funcionamiento. No obstante, esta área es algo complicada, por lo que existen varios tipos de clasificaciones por el tipo de fuente, por las señales que proporcionan y atendiendo a los elementos utilizados en su fabricación.

Por el tipo de fuente:

1. **Activos:** requieren de una fuente externa de energía de la que recibir alimentación de corriente para su funcionamiento.
2. **Pasivos:** no requieren de una fuente de energía externa, sino de las propias condiciones medioambientales, son suficientes para que funcionen según su cometido

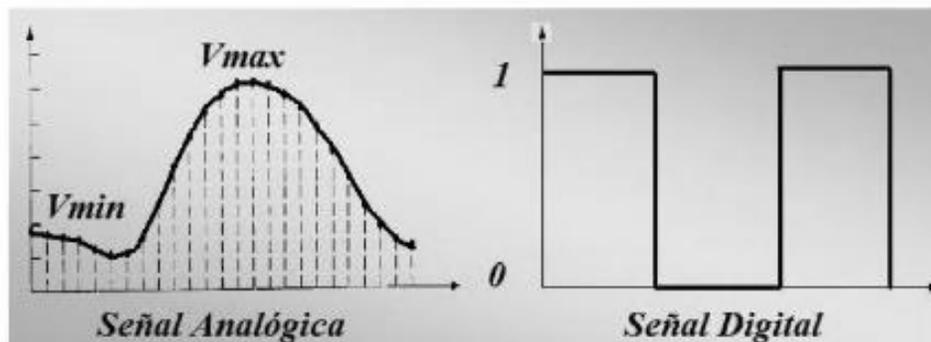
| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |



*Figura 17 Sensor pasivo y activo
Tomada del libro guía de sensores Serna et al. (2010)*

Por las señales que proporcionan (Figura 18):

1. Analógicos: proporciona la información mediante una señal analógica (tensión corriente), es decir, pueden tomar infinidad de valores entre un mínimo y un máximo.
2. Digitales: proporcionan información mediante una señal digital que puede ser un “0” o un “1” lógicos, o bien un código de bits.



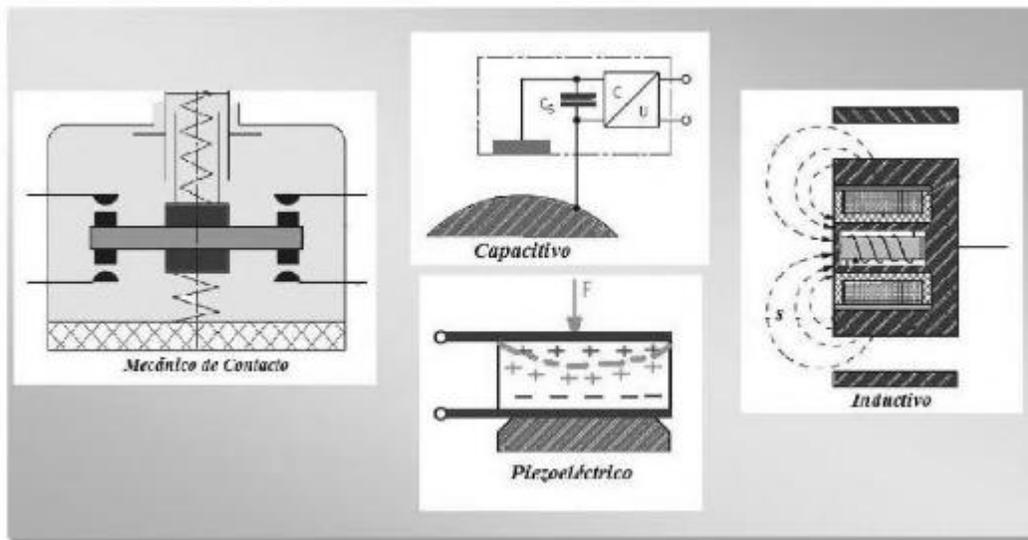
*Figura 18 Tipos de señales que proporcionan los sensores
Tomada del libro guía de sensores Serna et al. (2010)*

Atendiendo a los elementos utilizados en su fabricación:

1. Mecánicos: son aquellos. Que utilizan contactos mecánicos que se abren o cierran.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

2. Resistivos: son aquellos que utilizan en su fabricación condensadores.
3. Inductivos: son aquellos que utilizan en su fabricación bobinas.
4. Piezoeléctricos: son aquellos que utilizan en su fabricación cristales como el cuarzo.
5. Semiconductores: son aquellos que utilizan en su fabricación semiconductores.



*Figura 19 Tipos de elementos utilizados en los sensores
Tomada del libro guía de sensores Serna et al. (2010)*

A la hora de elegir un sensor para una aplicación concreta., es necesario tener en cuenta determinados aspectos para obtener el mejor rendimiento dentro de dicha aplicación.

1. Rapidez en la respuesta.
2. Situación donde van a ser utilizados.
3. Radio de acción.
4. Fiabilidad en el funcionamiento.
5. Tensiones de alimentación.
6. Consumo de corriente.
7. Márgenes de temperatura de funcionamiento.
8. Posibles interferencias por agentes externos. Resistencia a la acción de agentes externos.

| | | | |
|--|---|---------|----------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

9. Relación calidad precio.

Pero también es necesario conocer a veces determinadas características técnicas que dan mucha más información sobre la calidad del sensor:

1. Resolución: Es la mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse la salida.
2. Sensibilidad: es la relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.
3. Error: es la desviación de la medida proporcionada por el sensor respecto de la real. se suele expresar en porcentaje.
4. Precisión: es el error de medida máximo esperado.
5. Repetitividad: es el error esperado al repetir varias veces la misma medida.

La siguiente tabla muestra el tipo de sensores que hoy que habitualmente más se utilizan en la función de la aplicación.

| Aplicación | Sensores |
|----------------------|--|
| Iluminación | Fotorresistivos (LDR), Fotoeléctricos |
| Temperatura | Termistores (PCT, NTC, Semiconductores) |
| Humedad | Resistivos, Capacitivos |
| Posición/Inclinación | Mecánicos, Resistivos, Acelerómetros, Magnéticos |
| Presencia | Magnéticos, Infrarrojos, Ultrasonidos |
| Distancia | Infrarrojos, Ultrasonidos |
| Presión | Piezoeléctricos, Resistivos |
| Caudal | Piezoeléctricos, Magnetoresistivos |
| Frío/Calor | Células Termoeléctricas (Peltier) |
| Químicos | Detectores de gas y humos |

Figura 20 Tipos de aplicaciones para los sensores - Datos tomados del libro guía de sensores Serna et al. (2010)

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

2.7 HMI

Rodríguez, (2012) indica que la Interfaz Hombre-Máquina (HMI) surgió de la necesidad de que un humano interactúe con una máquina (dispositivo o computadora) y comprenda todos los puntos de conexión entre el usuario y el dispositivo en un sistema o proceso automatizado. Todos los procesos automatizados basados en sistemas de control distribuido (DCS) modernos y sistemas de adquisición de datos y control de supervisión (SCADA) utilizan HMI para representar las operaciones de la planta en tiempo real en pantallas, ventanas. Por lo general, las HMI están equipadas con una serie de herramientas integradas que permiten construir gráficos de pantalla personalizados para una arquitectura de sistema DCS o SCADA.

Las siglas en español HMI son las siglas de Human Machine Interface, la cual es una herramienta cuyo propósito principal es establecer comunicación entre el usuario y el estado de los equipos que componen el sistema o proceso. HMI se puede conectar a ventanas de desarrollo de software, en las que se puede ver la simulación de objetos y elementos que componen un proceso específico, estas ventanas se pueden colocar en paneles especiales para el operador o en computadoras comunes. Las señales de campo o de proceso se envían a la HMI mediante tarjetas de entrada y salida de computadora, controladores lógicos programables (PLC), unidades remotas de entrada y salida (RTU) o unidades de velocidad variable (unidades). Cabe señalar que todos los dispositivos anteriores deben mantener comunicaciones que puedan ser entendidas por la HMI. Entre las funciones principales que tiene una HMI son:

1. Monitoreo: capacidad de mostrar variables de la planta en tiempo real, se pueden mostrar como números, textos e imágenes, lo que ayuda al operario a comprenderlas bien el proceso.
2. Supervisión: Esta función junto con la anterior, pueden lograr ajustes en las condiciones de trabajo directamente desde la computadora.
3. Alarmas: establece bajo unos límites de control preestablecidos por los ingenieros del diseño el reconocimiento de eventos excepcionales dentro del proceso y así reportarlo.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

4. Control: es asociada la a capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso a ciertos límites permisibles. Este control va más allá del control por supervisión, esta consiste en remover o mitigar la acción humana en la toma de decisiones frente a algún procedimiento.
5. Histórico: Es la capacidad de muestrear y almacenar archivo, datos del proceso a una determinada frecuencia, que se convierte en una herramienta fundamental y muy utilizada para la optimización y corrección de procesos.

Las HMIS son parte fundamental de la automatización, pues de estas se basa el ser humano para proyectar la comunicación de los sistemas mediante gráficos, alarmas, textos, ente otros que permiten comprender de manera más fácil la operación de los procesos y controlarlos de manera óptima, con estas se pueden anticipar paros de línea o fallas graves teniendo un buen monitoreo de ellas.

La facilidad de resolver situaciones complejas en la operación por una alarma visible o una señal indicada en la pantalla muestran el avance tan importante en la comunicación de las redes para mitigar pérdidas de tiempo exageradas buscando posibles soluciones que ya se pueden visualizar desde una pantalla HMI y que facilita el trabajo técnico en los procesos que tienen este control.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

3. Metodología

Uno de los elementos que puede potenciar el impacto que tiene la metodología experimental aplicada para el proceso de ingeniería, es la implementación de estrategias más amplias de comunicación de los resultados. El método, utiliza el análisis y la síntesis como una fuente de información que sustenta la práctica de talleres o laboratorios. Según Larmer et al., (2010) indican un paralelo positivo con las actividades reales que deben hacer los profesionales, aumentando de este modo la posibilidad de que los prototipos se conviertan en productos útiles al exterior de la Universidad.

Partiendo desde la problemática expuesta como primer paso en el proceso metodológico, se observa en la línea de producción de tratamiento de superficies la ausencia de un proceso que fluya sin contratiempos, mediante la observación directa y registros de los comportamientos en esta etapa se determina realizar un análisis detenido de los sistemas que intervienen y se identifica las acusas de la problemática.

A partir de esto, se plantea una automatización que integre la mejora y el monitoreo de las cabinas en el proceso para poder responder más rápido frente a cualquier eventualidad.

Posteriormente, teniendo en cuenta el tipo de investigación descriptivo se detalló el funcionamiento de cada una de las partes del sistema, por lo cual, dio como resultado las variables críticas que intervienen en el proceso y se decide el rediseño del programa existente, además se agregaron componentes necesarios para obtener las mejoras que se plantearon como posibles soluciones de la problemática identificada.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

3.1 Proceso de Desarrollo Metodológico

1. Se identifica la causa raíz analizando factores como la velocidad de ingreso y extracción, y/o el ángulo de inserción de las cabinas en los tanques del proceso de TTS. Para esto utilizamos el método de diagrama de Ishikawa, además de poner a consideración la lluvia de ideas que de acuerdo con la experiencia que se pueda aportar para detectar problemas raíz.
2. Se postulan soluciones a los problemas identificados en el ítem 3.1.1 y se implementarán los mecanismos y/o sistemas necesarios para solucionar los problemas.
3. Se instalan dispositivos electromecánicos que permitan detener el sistema antes que la producción sea afectada. (Ver anexo 1 plano sistema)
4. Se analizan los posibles fallos del programa del controlador lógico y se procede a mejorarlo.
5. A las posibles mejoras planteadas, se actualiza el programa lógico del túnel de tratamiento para desarrollar un avance en el monitoreo de las cabinas y poder actuar más rápido frente a cualquier eventualidad, además también de la posibilidad de minimizar los tiempos de paro en esta área.
6. Se pone a prueba estas soluciones para evaluar su desempeño durante los procesos productivos. Se utilizan las instalaciones de RENAULT - SOFASA; así como los recursos económicos y tecnológicos suministrados por la empresa reservados para este proyecto, adicionalmente se utiliza el recurso teórico, las bases de datos otorgada por el ITM.
7. Como etapa final se pone a punto los sistemas implementados y se hacen las pruebas correspondientes.

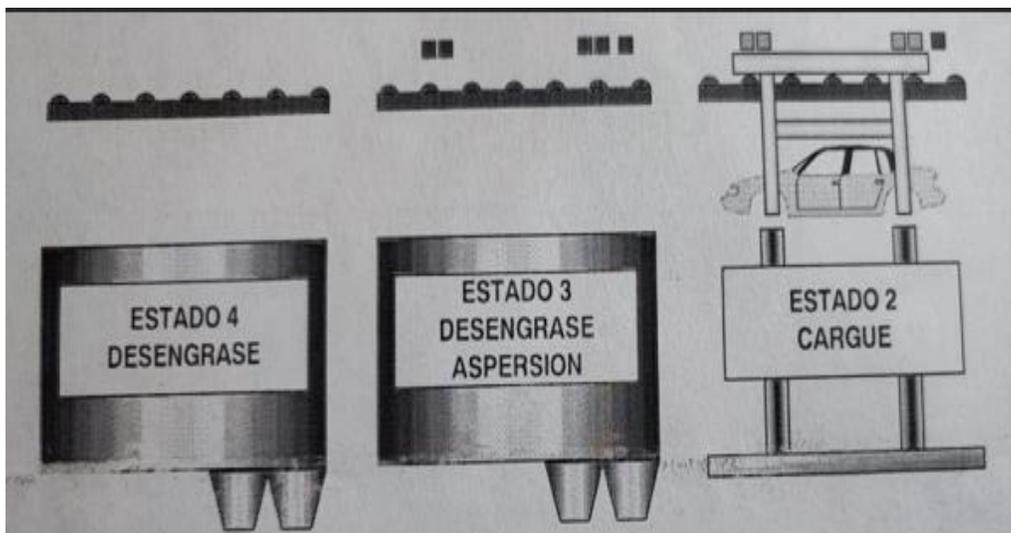
| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

4. Elementos del TTS

4.1 Equipos que componen el TTS

4.1.1 Sistema de Transporte Horizontal

Consiste en un sistema de transporte horizontal mediante rodillos alimentados por manorreductores y cadenas ver Figura 21.



*Figura 21 Sistema de transporte horizontal
Planos del sistema de transporte horizontal y vertical del TTS SOFASA., modificado por los autores*

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

4.1.2 Navette



*Figura 22 Navette
Foto tomada en la sección estado 9 TTS en SOFASA.*

Trasportan las cabinas de un estado a otro, son 5 y se desplazan con la ayuda de unos rodillos que se encuentran en su parte superior y estos a la vez son movidos por dos motores de 440v, las navette ver figura 22, son controlados por 5 sensores para 2 posiciones liberación y centrado. La posición de centrado es cuando la cabina está alineada con las platinas de enganche de los elevadores, en esta posición la navette entrega o recibe la cabina para hacer o seguir el proceso respectivamente.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

4.1.3 Motorreductor navette



*Figura 23 Motorreductor Navette
Foto tomada en la sección estado 9 TTS en Sofasa Renault*

Cada navette tiene 2 motorreductores trifásicos de 1.1 KW a 440 v de 1762 r/min y con un torque de 146Nm. marca SEW, ver Figura 23. El sistema impulsor está provisto de un eje de transmisión el cual trasmite el movimiento mediante cadenas que se unen a los piñones de las ruedas de las navette ver figura 24.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

4.1.4 Ruedas Navette



Figura 24 Ruedas Navette

Foto tomada en la sección estado 9 TTS en Sofasa Renault

Las ruedas de la navette son unos rodillos recubiertos de un caucho antideslizante, con el fin de que haya una fricción adecuada entre la rueda y el skit de la navette. En el lado opuesto de las ruedas hay unos piñones que se conectan en serie a las demás ruedas y a la transmisión del motorreductor. En cada estado hay 10 ruedas, 5 en el lado izquierdo y 5 en el lado derecho. Cada una de las mesas de rodillos, se fijó a la estructura mediante platinas de anclaje soldadas a la estructura del túnel.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

4.1.5 Centrales



*Figura 25 Centrales
Foto tomada en la sección estado 10 TTS en Sofasa Renault*

Son cilindros neumáticos los cuales manejan unas levas por medio de horquillas cuya finalidad es centrar la navette garantizar la correcta posición en el momento del cargue del elevador. Los centrales son cilindros de doble efecto de marca FESTO con un recorrido de 500 mm y un diámetro de piston de 200 mm. Ver Figura 25.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

4.2 Sistema de Transporte Vertical

El presente capítulo se refiere a las columnas de elevadores, con sus respectivas transmisiones.



*Figura 26 Sistema de transporte vertical
Foto tomada en la sección estado 6 TTS en Sofasa Renault*

4.2.1 Elevadores

Son sistemas compuestos por motores, cadenas, cajas sprockets y una estructura firme que se desplaza verticalmente. con la finalidad de sumergir y emerger las cabinas para recibir el respectivo y tratamiento químico en las láminas. El material de los elevadores es de acero inoxidable puesto que la estructura es sumergida en los baños químicos.

En cada estado hay dos elevadores el anterior y el posterior (ver Figura 26), la estructura de los elevadores y columnas guías son fabricados a partir de láminas de acero dobladas y galvanizadas (ver figura 32), apareadas entre sí mediante soldaduras y presillas de ensamble. En las columnas guías la distorsiones por galvanizado tienen que ser mínimas ya que deben permitir el libre desplazamiento del carro principal y del tensor o contrapeso (figura 30 y 31).

El transporte de los elevadores tiene diferentes movimientos de descenso, basculaciones y ascenso. Los skid que es donde las cabinas están fijas son enganchados por los elevadores en los extremos. Para poder que las cabinas se sumergen no floten deben de descender en un ángulo de 45 grados

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

aproximadamente, para esto el controlador lógico por medio de temporizadores hace que los elevadores se muevan en diferentes posiciones según el modelo de la cabina.

4.2.2 Motorreductor elevadores

Figura 27.



*Figura 27 Motorreductores elevadores
Foto tomada en la sección estado 8 TTS en Sofasa Renault*

En el TTS hay 18 motorreductores de elevadores para 9 estados. Son los encargados de dar el movimiento de ascenso y descenso de los elevadores, están conectados por medio de cardanes a las cajas sprockets, dándoles un torque de 1800 Nm con una potencia de motor de 2.2 Kw para 440v. ver Figura 27.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

4.2.3 Cardanes elevadores posterior

Son ejes con bridas a sus extremos los cuales conectan entre si las cajas sprockets ver figura 28.



*Figura 28 Cardanes elevadores posterior
Foto tomada en la sección estado 2 TTS en Sofasa Renault*

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

4.2.4 Cajas sprockets superiores e inferiores

Son cajas motrices compuestas de un eje y dos piñones. Cada elevador tiene 4 cajas sprocket, dos en el lado izquierdo y dos en el lado derecho (ver Figura 29). Las dos cajas del mismo lado se conectan entre sí por medio de dos cadenas paso 120, las cadenas se conectan a un carro de traslación y a una contrapesa.



*Figura 29 Cajas sprockets superiores e inferiores
Foto tomada en la sección estado 5 TTS en Sofasa Renault*

4.2.5 Carros de traslación lado izquierdo posterior

Cada elevador tiene dos carros de traslación uno al lado izquierdo y otro en el derecho. Los carros de traslación tienen 4 ruedas que se desplazan en unos rieles verticales. Las estructuras de los carros conectan con la estructura de los elevadores los cuales a su vez cargan las cabinas (ver Figura 30).

Carros de traslación lado izquierdo posterior

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

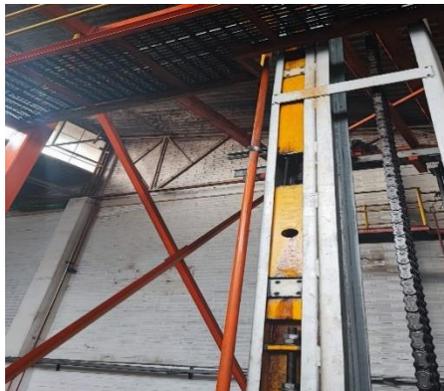


*Figura 30 Carros de traslación lado izquierdo posterior
Foto tomada en la sección estado 10 TTS en Sofasa Renault*

4.2.6 Contrapeso izquierdo anterior

Son las encargadas de mantener el sistema de los elevadores equilibrado con un peso de 400 kg y un sistema tensor para las cadenas de los elevadores ver

Figura 31.



*Figura 31 Contrapeso izquierdo anterior
Foto tomada en la sección estado 10 TTS en Sofasa Renault*

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

4.2.7 Columnas guías elevadores TTS

Son columnas que internamente contienen y guían los carros de traslación y contrapesas de los elevadores, son 4 por estado y fabricadas en acero ASTM A36 (ver Figura 32)



*Figura 32 Columnas guías elevadores TTS
Foto tomada en la sección estado 10 TTS en Sofasa Renault*

4.3 Planos eléctricos

El túnel de tratamiento consta de tableros eléctricos para cada estado, dentro de los cuales se describe el estado de los planos generales de control y de potencia, por ejemplo: los comandos generales, paros de emergencia, del común de 24 voltios y ramas unifilares.

1. Plano eléctrico comandos generales Tablero estado 9 del TTS Sofasa Renault
2. Plano eléctrico parada de emergencia. Tablero estado 9 del TTS Sofasa Renault
3. Plano eléctrico común 24 voltios. Tablero estado 9 del TTS Sofasa Renault
4. Plano eléctrico distribución del común de 24 voltios. Tablero estado 9 del TTS Sofasa Renault
5. Plano eléctrico unifilar variadores TTS. Tablero estado 9 del TTS Sofasa Renault

| | | | |
|--|---|---------|----------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

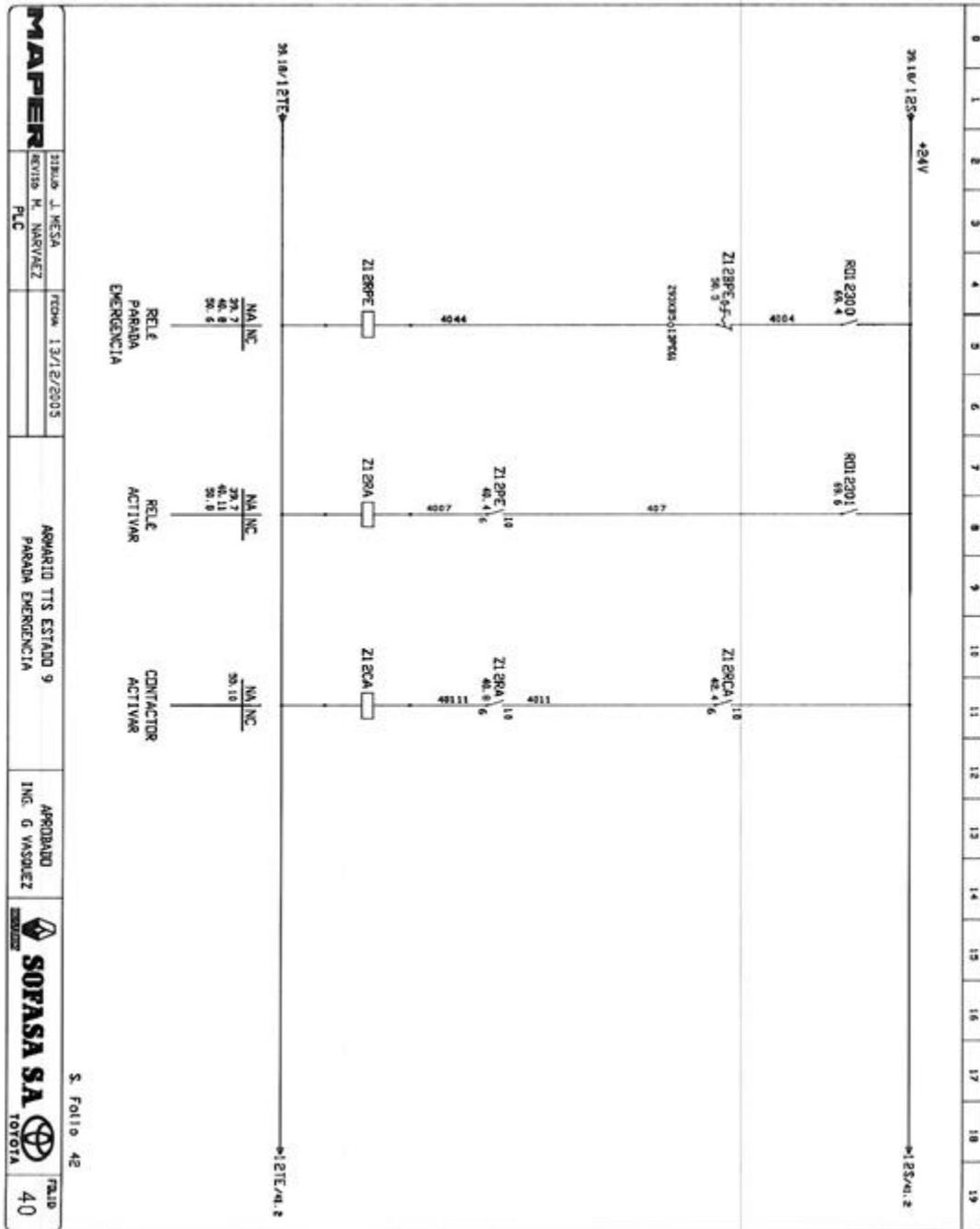


Figura 34 Plano eléctrico parada de emergencia. Tablero estado 9

| | | | |
|--|---|---------|----------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

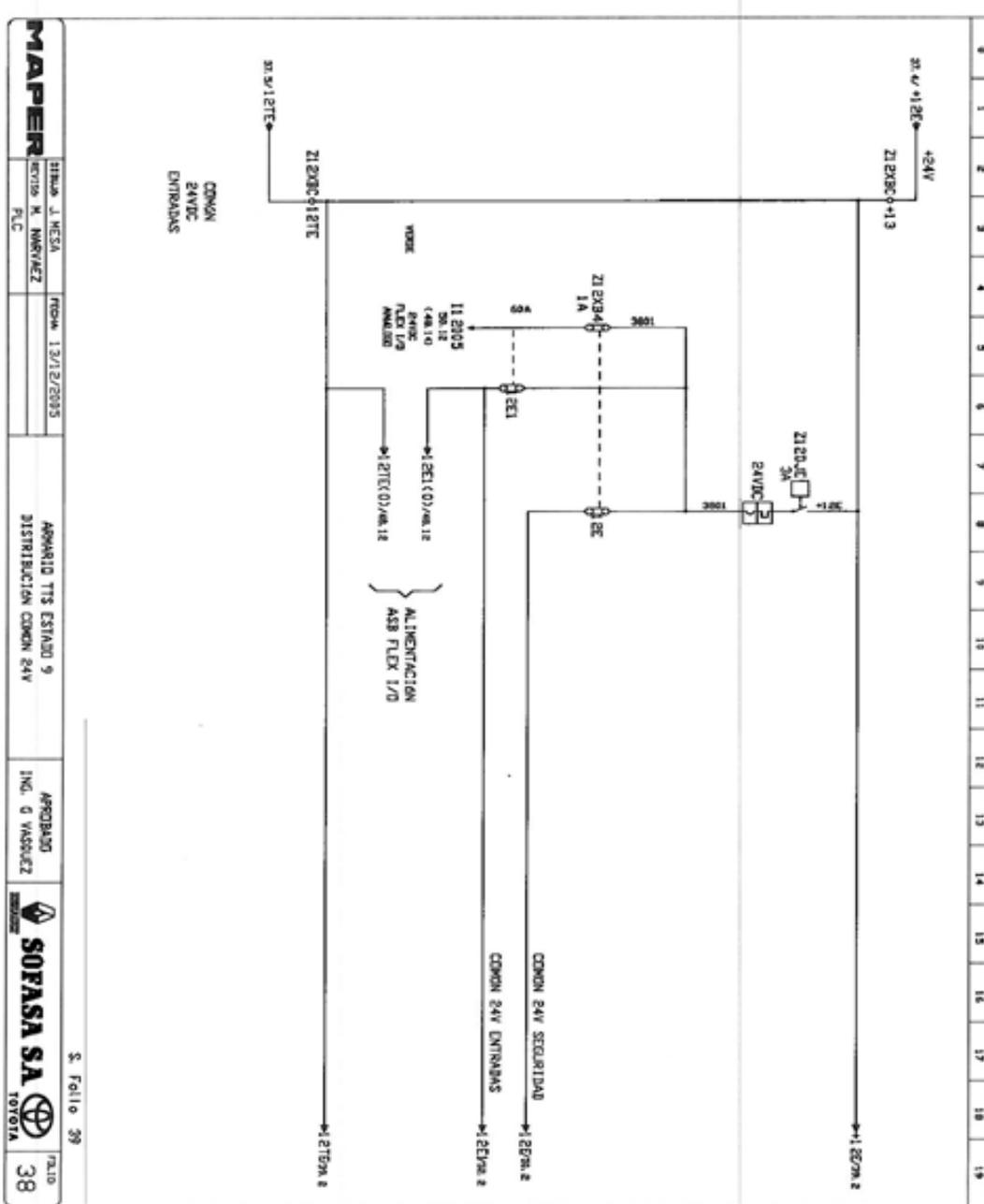


Figura 36 Plano eléctrico distribución del común de 24 voltios. Tablero estado 9

| | | | |
|--|---|---------|----------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

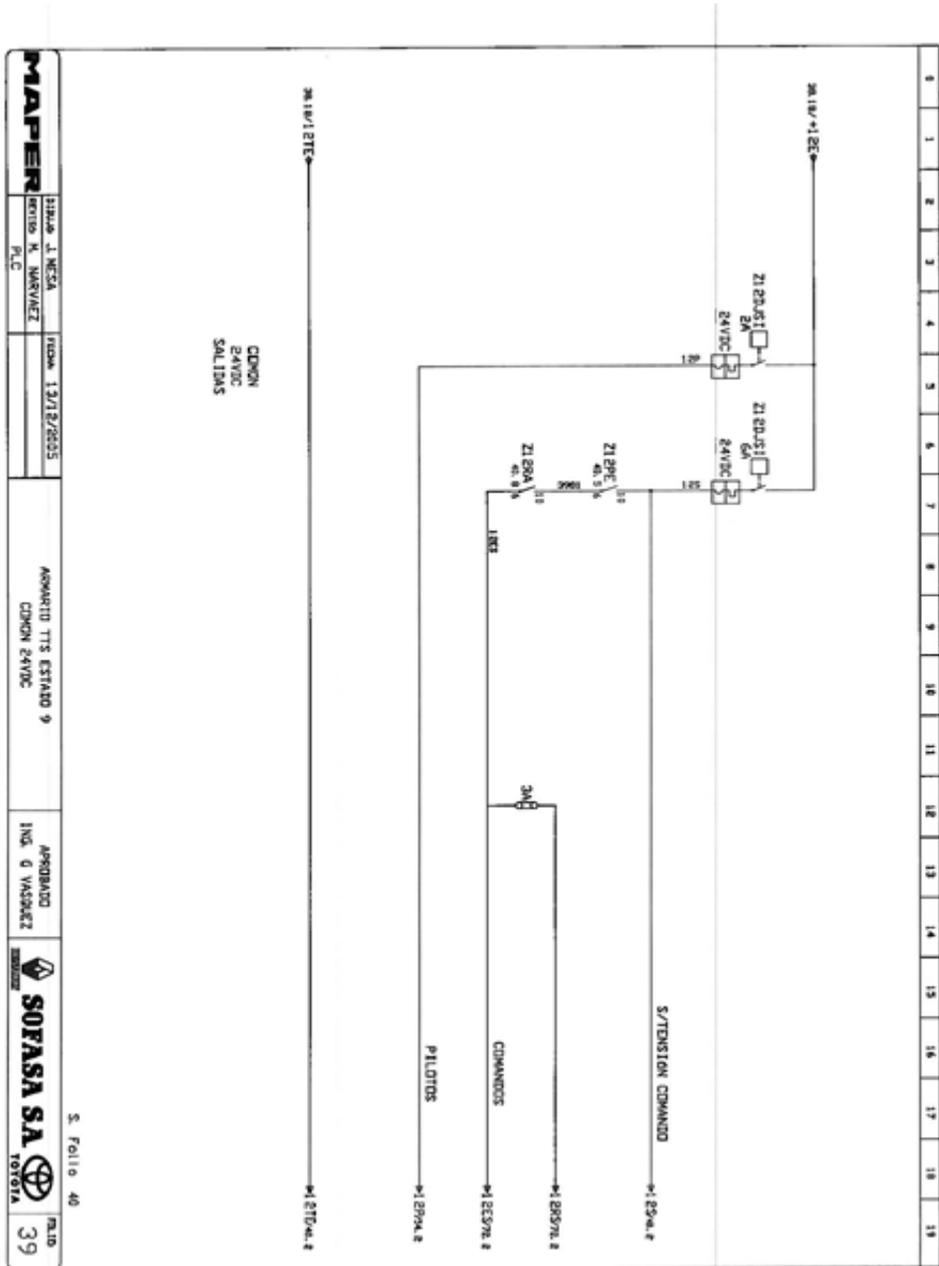


Figura 37 Plano eléctrico unifilar variadores TTS. Tablero estado 9

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

5. Resultados

5.1 Ángulo de inclinación

Una vez conocido como es el proceso en el TTS e identificadas las posibles fallas se inician modificaciones como plan de acción, con el fin de eliminar el problema de las cabinas que flotan, por lo tanto, como primera intervención se cambian los ángulos de inclinación en el momento de emerger y sumergir las cabinas en los tanques del túnel. Si bien resulta efectivo realizar este cambio en la inclinación, este accionar estaba generando problemas de calidad, pues las superficies de las cabinas y presentaban manchas porque no se sumergían en los tiempos indicados.

5.1 Diseño de un Sistema Electromecánico para Aumentar la disponibilidad en TTS

Ya que la modificación del ángulo de inclinación en las cabinas se obtiene un resultado positivo en la flotabilidad, pero negativo en calidad por tiempos de inmersión, esta opción se descarta, por lo que se opta por el diseño de un sistema electromecánico buscando llegar a dar solución a los problemas previamente planteados y analizados.

5.2 Descripción General de la Propuesta

Después de enumerar los problemas que se presentan en el TTS y sus posibles causas, se llega a la conclusión que la mejor forma de evitar los daños es detener el proceso antes de que ocurra las averías en las piezas y cabinas. Para esto se ha planteado un sistema electromecánico que cumpla con los siguientes ítems requeridos en la industria automotriz:

1. Rápido para reaccionar.
2. Que detenga todos los elementos del estado donde ocurra el posible incidente.
3. Que permita retomar el proceso automático en el menor tiempo posible.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

4. El dispositivo debe de ser ligero para no dañar la cabina o alguna pieza de esta.
5. Debe de ser en un material que resista el ambiente altamente agresivo que hay en el TTS.
6. La falla debe de ser visible en el monitor del TTS para poder reducir los tiempos de paro.

Se presenta una propuesta de diseño separándola en varias partes para una mejor comprensión de esta. Inicialmente se dará una descripción general del diseño planteado para posteriormente entrar en detalle de los cambios mecánicos, eléctricos, y de control requeridos.

Se diseña un sistema electromecánico compuesto por un brazo de 2 m, el cual lleva en sus extremos delanteros una extensión perpendicular de 3m y en su parte trasera está sujeta a un bastidor el cual conecta con un eje de ½in de diámetro, que permite ecualizar verticalmente el brazo; bajo del brazo en la salida del bastidor hay un resorte de compresión de 1 pulgada de diámetro externo y 3 pulgadas de longitud que amortigua el brazo cuando es impulsado hacia abajo dándole un límite de movimiento. En uno de los extremos del eje de media pulgada, se conecta una platina la cual con el más mínimo movimiento de brazo activa un sensor altivar 332, el cual envía una señal a un programador lógico, deteniendo el proceso en el estado donde se presentó la avería. El objetivo del dispositivo es que esté en cada uno de los estados del túnel de tratamiento ver Figura 38, así cuando la cabina entre o salga en una posición incorrecta este toque uno de los brazos según sea el lado donde esta descentrada y este active el sensor deteniendo todo el sistema.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |



*Figura 38 Túnel del tratamiento estado 6
Foto tomada en el túnel del tratamiento estado 6 en Sofasa Renault*

5.3 Sistemas Mecánicos

5.3.1 Amortiguador

En la estructura mecánica como lo muestra la Figura 39, se instala el resorte amortiguador que le da seguridad al sistema ya que las cabinas en ocasiones golpean fuertemente contra la estructura generando daños considerables en la misma e interrupciones en la línea que retrasan la producción. Con esta amortiguación, se asegura que el sistema va a trabajar más estable y confiable.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |



*Figura 39 Resorte de amortiguación
Tablero estado 6 del TTS Sofasa Renault*

5.3.2 Soporte de acero en tubo cuadrado

Para la activación de la palanca que va al sensor y que va a tener el contacto con las cabinas se fabricará un marco en tubo cuadrado de 1/2" un soporte de 1.5mts de largo que cumpla con la resistencia adecuada en el movimiento y la estabilidad requerida para que su función sea óptima. Además, este dispositivo debe de ser en acero inoxidable para evitar corrosión ya que el ambiente es demasiado agresivo en todos los estados del TTS, ver figura 40



Figura 40 Soporte en tubo cuadrado

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

Foto tomada en el túnel del tratamiento estado 6 en Sofasa Renault

5.3.3 Eje de rotación.

Se utilizará un eje en acero inoxidable de 1/2" (Figura 41) que haga el movimiento de la estructura mencionada, sea para cuando la cabina accione cuando este saliendo o entrando del tanque.



*Figura 41 Eje de rotación a la estructura
Foto tomada en el túnel del tratamiento estado 6 en Sofasa Renault*

5.3.4 Palanca de activación de sensor.

Se acopla al eje de rotación una palanca en platina de 1/2" (Figura 42) que va a activar el sensor cuando la cabina pierda su posición y accione el mecanismo de seguridad para que se cumpla la señal de mando al PLC y detenga el proceso antes de ocurrir algún daño en la línea.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |



*Figura 42 Palanca de accionamiento de sensor
Foto tomada en el túnel del tratamiento estado 8 en Sofasa Renault*

5.4 Sistemas Eléctricos

El sistema eléctrico básicamente funciona cuando se activa el sensor inductivo, este activa los contactos de los relés (ver figura 51), y estos a su vez envían una señal a los módulos de entrada que se instalaron exclusivamente para estos sistemas de seguridad. Esta señal finalmente llega a el PLC maestro, el cual detiene los estados anteriores al estado donde ocurrió el incidente. Cuando el sistema se detiene se activa una alarma sonora y se muestra en el monitor del túnel de tratamiento la falla que está ocurriendo ver figura 54, también muestra en que parte de los diferentes procesos de los estados están las cabinas.

El diseño está basado en automatizar el sistema para evitar la destrucción de las cabinas y a la vez realizar monitoreo a su posicionamiento. Por eso, se implementará un control lógico programable. Para esto se utilizará la CPU del PLC Allen Bradley 1756 -PA75/A (ver figura 53), que funciona como maestro ubicado en el centro del TTS y se encarga de controla todo el proceso de tratamiento de superficies. En cada uno de los estados del dos al nueve hay un tablero de control y potencia en donde hay un PLC esclavo (ver figura 43 y 45)

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |



*Figura 43 Tablero estado 8 del TTS SOFASA
Foto tomada en el túnel del tratamiento estado 8 en SOFASA.*



*Figura 44 Tablero eléctrico PLC maestro y monitor del TTS
Foto tomada en el túnel del tratamiento en SOFASA.*

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |



*Figura 45 Tableros de cada estado del TTS
Foto tomada en el túnel del tratamiento en Sofasa Renault*

5.4.1 Modulo entradas y salidas

Los PLC esclavos que se encuentran en cada uno de los estados del TTS no contaban con entradas disponibles para la elaboración de este proyecto, por esta razón se añadieron módulos de entradas y salidas digitales de 24VDC Allen Bradley en cada uno de los tableros donde se instalarán los dispositivos de seguridad que realizan la lectura de los estados (ver Figura 43).

5.4.2 Sensor inductivo de 3 hilos.

Se plantea detectar la estructura metálica de la cabina mediante este sensor que emite una señal que indica cuando está fuera de posición.

Inicialmente se utiliza el sensor XS8D1A1PAM12 marca Telemecanique ver figura 46, donde por la humedad del sitio, cuenta con un grado de protección IP 67. Pero este sensor no era el adecuado por que el ambiente maneja demasiados vapores producidos por los diferentes químicos que se manejan en el túnel.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

Por esta razón se cambió el sensor por uno de 4 hilos marca Turck el cual también cuenta con IP 67 pero es totalmente hermético y resistente a los vapores químicos emitidos por los componentes de la zona (ver figura 48.).



*Figura 46 Sensor telemecanique XS8D1A1PAM12
Tomada de la página <https://tesensors.com/es/es/product/reference/XS8D1A1PAM12PCM> surplus World.*

| HOJA DE DATOS | |
|------------------------------------|---|
| MAIN | |
| Range of product | Telemecanique Inductive proximity sensors XS |
| Series name | General purpose |
| Sensor type | Inductive proximity sensor |
| Device application | - |
| Sensor name | XS8 |
| Sensor design | Flat form 80 x 80 x 26 |
| Size | 26 mm |
| Body type | Fixed |
| Detector flush mounting acceptance | Non flush mountable |
| Material | Plastic |
| Enclosure material | PBT |
| Type of output signal | Discrete |
| Wiring technique | 3-wire |
| [Sn] nominal sensing distance | 40 mm flush mountable 60 mm non flush mountable |
| Discrete output function | 1 NO |
| Output circuit type | DC |
| Discrete output type | PNP |
| Electrical connection | Male connector M12, 4 pins |
| [Us] rated supply voltage | 12...24 V DC with reverse polarity protection |
| Switching capacity in mA | <= 200 mA DC with overload and short-circuit protection |
| IP degree of protection | IP67 double insulation conforming to IEC 60529 |

*Figura 47 Especificaciones del sensor telemecanique XS8D1A1PAM12
Tomada de la página web <https://tesensors.com/es/es/product/reference/XS8D1A1PAM12>*

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |



Figura 48 Sensor TURCK Ni75 U-CP80-VP4X2 4 hilos
Foto tomada en la escuela de destrezas mantenimiento pintura SOFASA

- rectangular, altura 41 mm
- plástico, PBT-GF30-V0
- Factor 1 para todos los metales
- Resistente a campos magnéticos
- Rango de detección mayor
- Rango de temperatura ampliado
- Alta frecuencia de conmutación
- 4 hilos DC, 10...65 VDC
- contacto inversor, salida PNP
- conector, M12 x 1

Esquema de conexiones

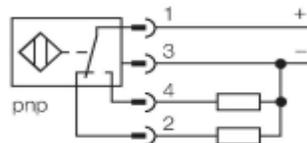


Figura 49 Especificaciones Conexión de sensor TURCK Ni75 U-CP80-VP4X2
Tomada de la página web https://www.turck.de/datasheet/_es/edb_1540802_esl_es.pdf

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

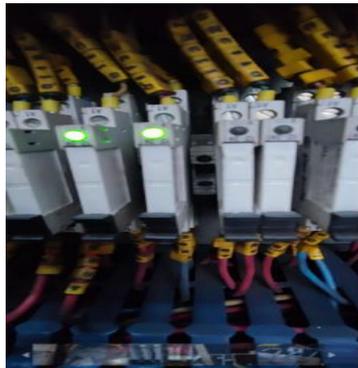
| | |
|--|--|
| Tipo | NI75U-CP80-VP4X2-H1141 |
| N.º de ID | 1540802 |
| Datos generales | |
| Distancia de detección | 75 mm |
| Condición para el montaje | No enrasado |
| Distancia de conmutación asegurada | $\leq (0,81 \times S_n)$ mm |
| Precisión de repetición | $\leq 2 \%$ del valor final |
| Variación de temperatura | $\leq \pm 10 \%$ |
| | $\leq \pm 15 \%, \leq -25 \text{ °C} \vee \geq +70 \text{ °C}$ |
| Histéresis | 3...15 % |
| Datos eléctricos | |
| Tensión de servicio | 10...65 VCC |
| Ondulación residual | $\leq 10 \%$ U_{cc} |
| Corriente DC nominal | ≤ 200 mA |
| Corriente sin carga | 15 mA |
| Corriente residual | ≤ 0.1 mA |
| Tensión de control de aislamiento | ≤ 0.5 kV |
| Protección cortocircuito | sí / cíclica |
| Caída de tensión a I_L | ≤ 1.8 V |
| Protección ante corto-circuito/polaridad inversa | sí / Completa |
| Salida eléctrica | 4 hilos, Contacto antivalente, PNP |
| Inmune al campo de corriente continua | 300 mT |
| Inmunidad campo magnético alterno | 300 mT _{ss} |
| Material de la cubierta | Plástico, PBT-GF30-V0 |
| Material de la cara activa | PBT-GF30-V0 |
| Conexión eléctrica | Conectores, M12 × 1 |
| Condiciones ambientales | |
| Temperatura ambiente | -30...+85 °C |
| Resistencia a la vibración | 55 Hz (1 mm) |
| Resistencia al choque | 30 g (11 ms) |
| Grado de protección | IP67 |
| MTTF | 874 Años según SN 29500 (ed. 99) 40 °C |
| Indicación de la tensión de servicio | LED, Verde |
| Indicación estado de conmutación | LED, Amarillo |

Figura 50 Especificaciones del sensor TURCK Ni75 U-CP80-VP4X2 4 hilos
Tomada de la página web: https://www.turck.de/datasheet/_es/edb_1540802_esl_es.pdf

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

5.4.3 Relé

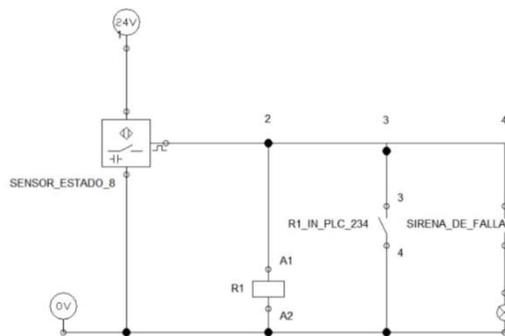
Componente eléctrico de 24VDC para cerrar o abrir el circuito en función de su bobina y llevar la señal al PLC.



*Figura 51 Relé pastilla 24VDC
Foto tomada en el tablero de control estado 8 del TTS en SOFASA*

5.4.4 Plano eléctrico.

Se presenta a continuación el plano eléctrico de control diseñado. En la Figura 52 se puede observar la alimentación del sensor desde una fuente de 24VDC, llevando la señal hasta el relé alimentado emitiendo la señal al PLC, entrada 1 por medio de un contacto abierto (NO) que cierra cuando se activa el sensor y por la simulación se programa para que encienda una luminaria como se muestra



*Figura 52 Control por sensor de 3 hilos
Plano de simulación del control de dispositivo electromecánico empleado.*

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

5.5 Programa PLC y HMI



Figura 53 PLC Allen Bradley 1756 -PA75/A
Foto tomada en el túnel del tratamiento en Sofasa Renault

A pesar de que la empresa por políticas de privacidad no permite publicar los programas de los equipos se logra conseguir una autorización especial de una muestra pequeña para una visualización más clara de la pantalla que se diseñó para la HMI. (Ver Figura 54).

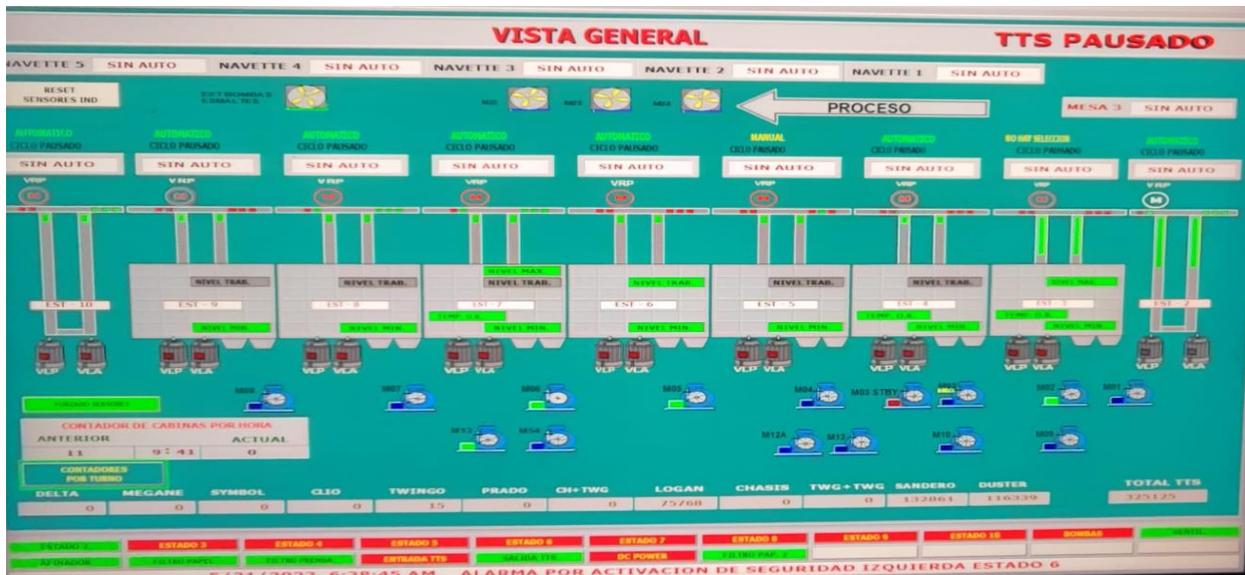


Figura 54 Monitor del TTS
Foto tomada en el túnel del tratamiento en Sofasa Renault

En la Figura 54, se podrá visualizar el proceso dentro del túnel de tratamiento de superficies, se observan los estados en que van las cabinas durante su inmersión y como quedarían los ciclos cuando se

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

presente la falla por activación del sensor de posicionamiento, el cual emite una alarma en señal de falla de color rojo, así como su reposicionamiento sea de color verde. También quedará que los sensores puedan ser forzados por si ocurre alguna anomalía en el sistema y otra opción de restauración de los mismos.

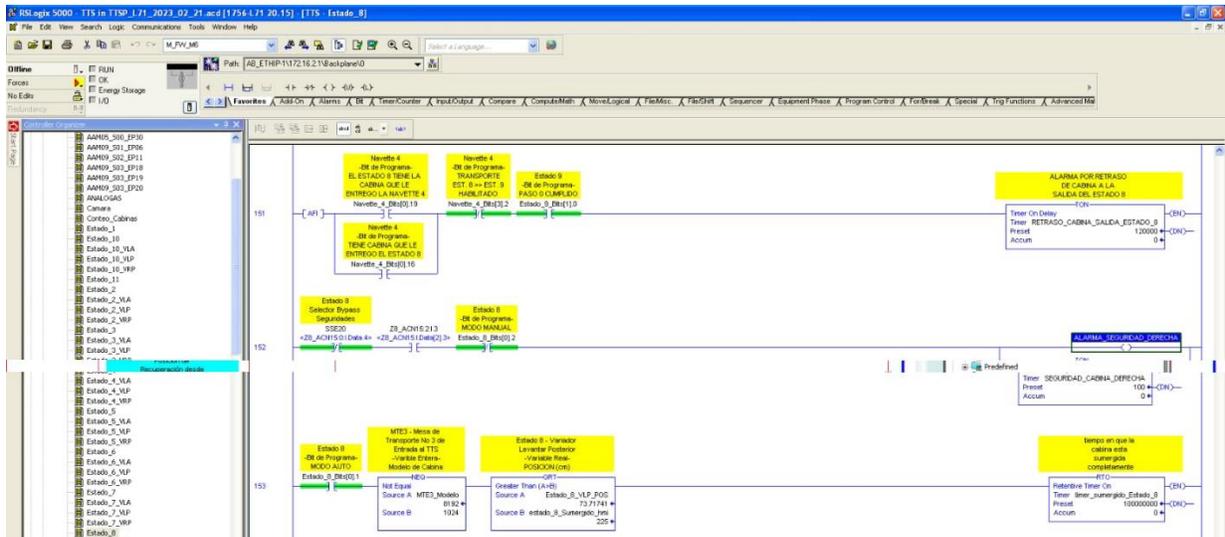


Figura 55 Programación del PLC: activa el dispositivo electromecánico mal posicionada
Pantallazo de activación de sensor seguridad estado 8 túnel de tratamiento figura 55, cuando una cabina activa el dispositivo electromecánico por estar mal posicionada.

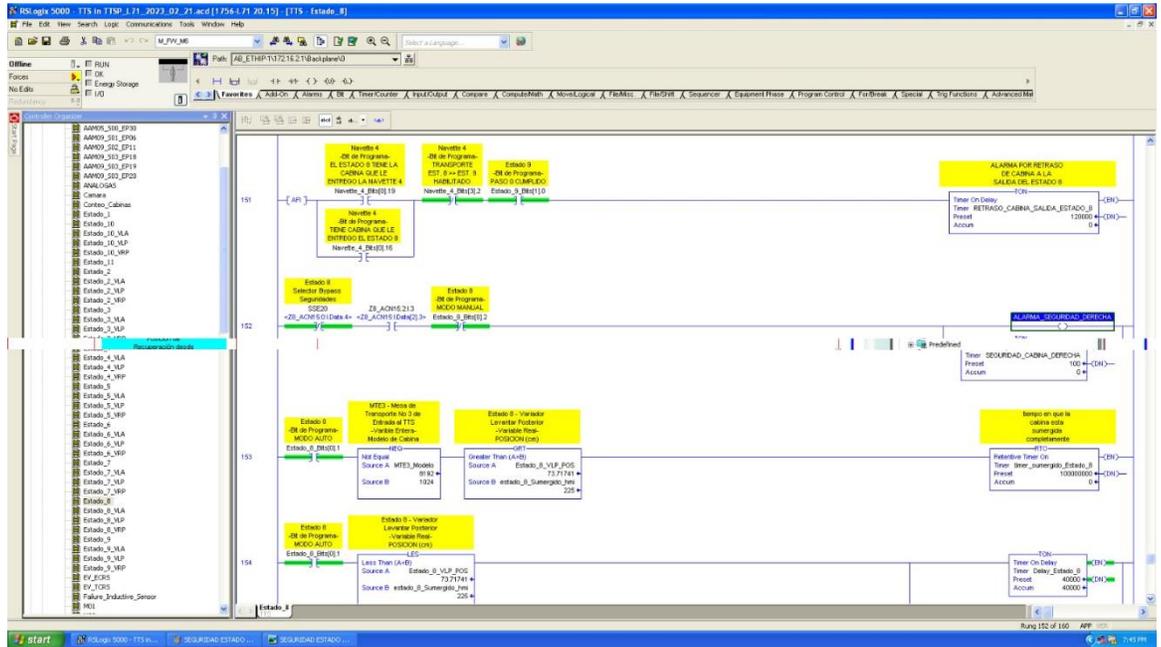


Figura 56 Programación del PLC: cabina mal ubicada y en riesgo de colisión.
Pantallazo de programa de retraso de cabina en estado 8 TTS (figura 56) por cabina mal ubicada y en riesgo de colisión.

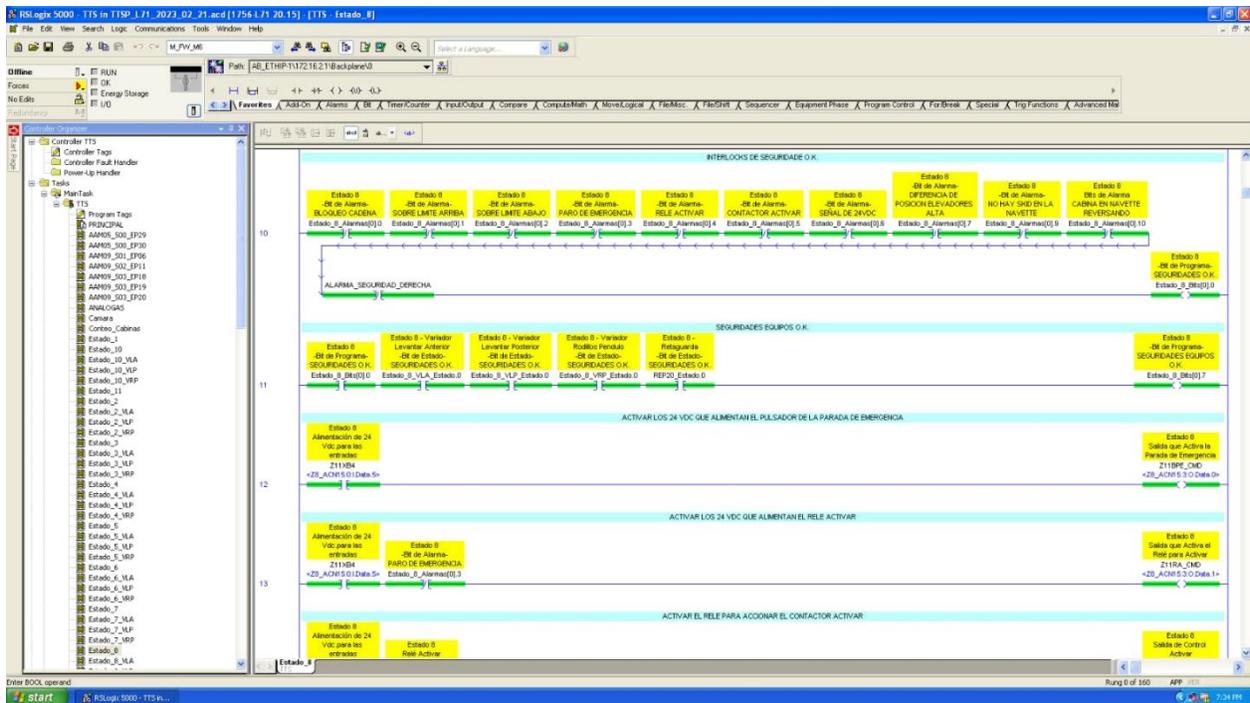


Figura 57 Programación del PLC: detiene las Navettes cuando el dispositivo electromecánico es activado.
Pantallazo de programa del TTS estado 8 el cual detiene las Navettes cuando el dispositivo electromecánico es activado.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

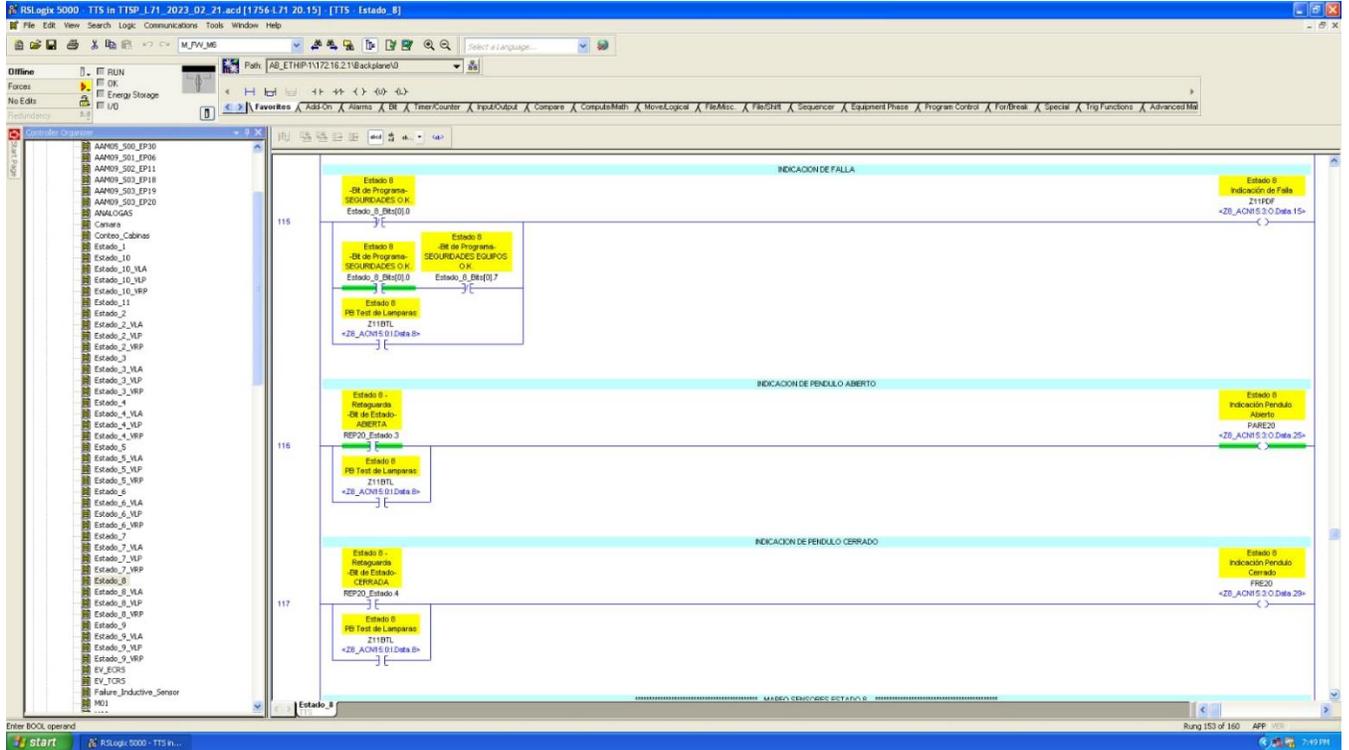


Figura 58 Programación del PLC: muestra el bit de parada de los elevadores estado 8. Pantallazo de programa del TTS estado 8, el cual muestra el bit de parada de los elevadores estado 8.

| | | | |
|---|---|--|----------------------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | | Código FDE |
| | | | Versión 04 |
| | | | Fecha 24-02-2020 |

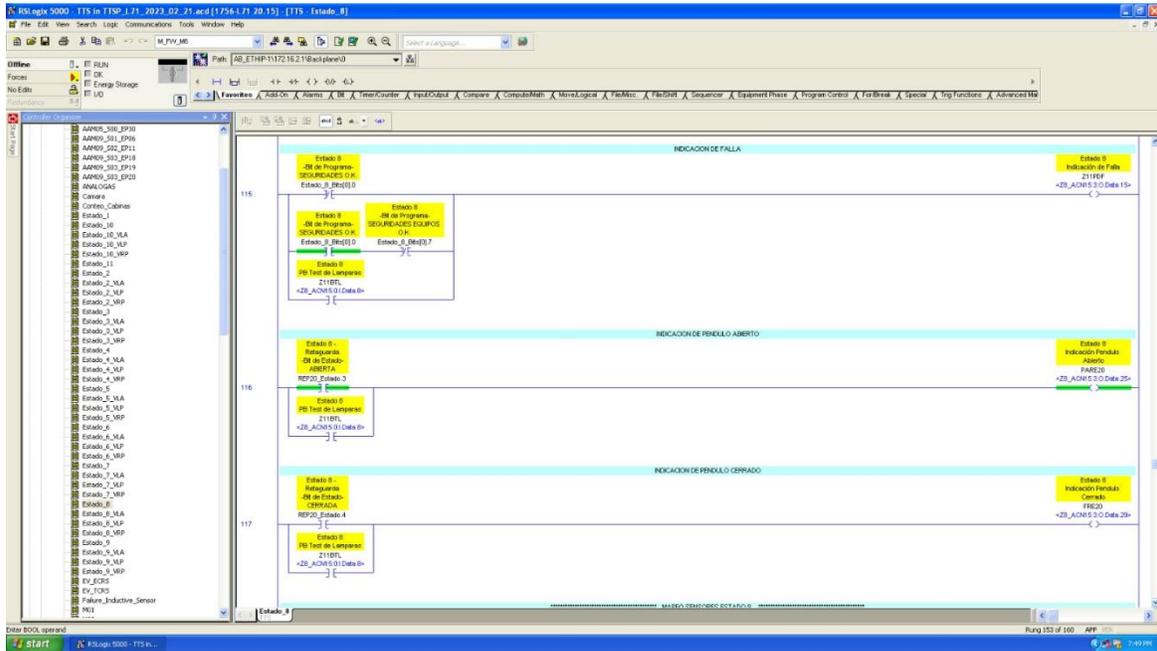


Figura 59 Programación del PLC: detiene los elevadores cuando el dispositivo electromecánico es activado. Pantallazo de programa del TTS estado 8 el cual detiene los elevadores cuando el dispositivo electromecánico es activado.

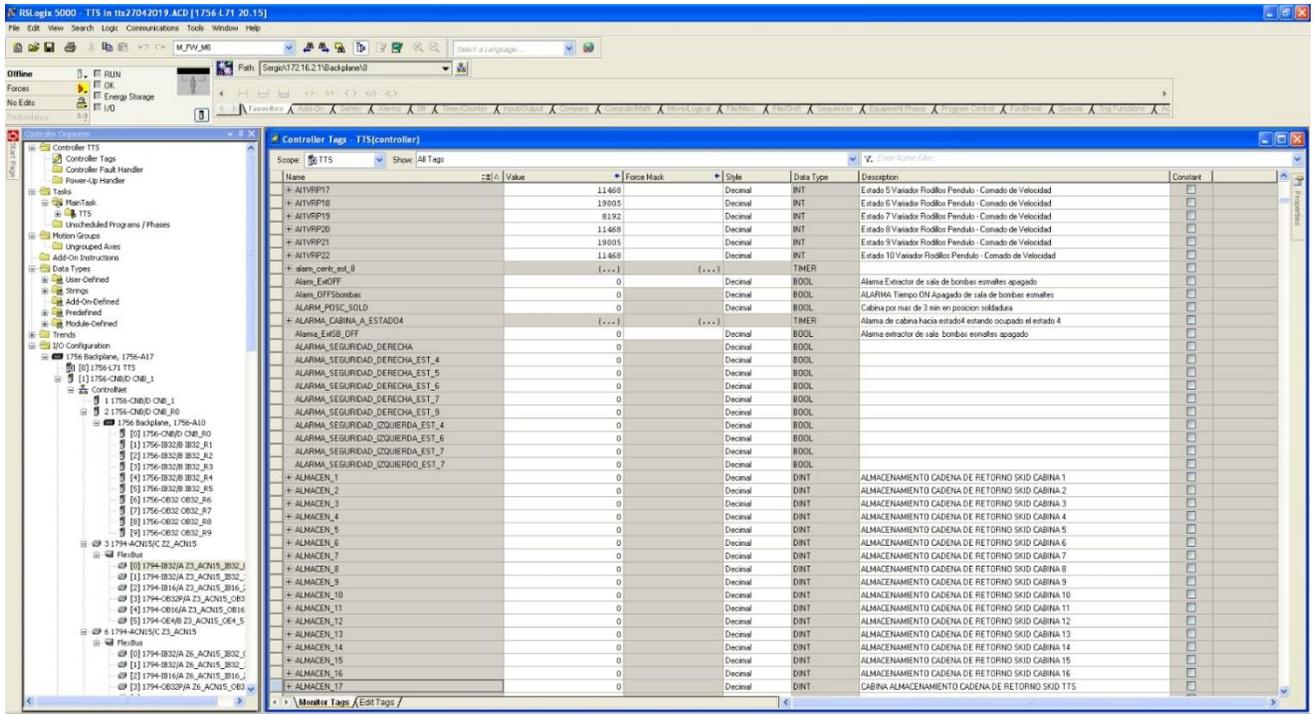


Figura 60 Programación del PLC: tabla de datos de bit para el programa del dispositivo de seguridad electromecánico. Pantallazo de tabla de datos de bit para el programa del dispositivo de seguridad electromecánico estado 8.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

5.6 Cotización de Componentes

Para este proyecto se busca en la mayor parte posible utilizar materiales que se tienen como refacción o en stock de almacén para reducir costos, esto se debe a que en los estudios de proyección de costos anuales, no se tenía contemplada dicha intervención, por ende, se busca un gasto de menor cuantía ya que sería difícil sacar un presupuesto grande sin haberlo estudiado previamente. En la tabla 3, se especifica el material suministrado por la compañía con su respectivo valor. Así mismo, se reutilizaron materiales recuperados de secciones que ya no se utilizan por el cese de la producción de modelos de vehículos discontinuados; de dichas áreas fuera de operación se tomaron los siguientes elementos:

1. 9 sensores Turck NI75U-CP80-VP4X2
2. 7 módulos entrada Allen Bradley
3. 1 modulo Ethernet Adapter Module Flex IO REF: 1794-AENTR
4. 3-wire screw terminal base REF: 1794-TB3

| ITEM | PRECIO | CANTIDAD | DESCUENTO | TOTAL |
|---|---------------|----------|-----------|----------------|
| CORAZA POLIAMIDA 1/2 | \$6,400,00 | 140, MTS | 0.00% | \$896,000,00 |
| CONECTOR RECTO. TUBO POLIAMIDA 1/2" MIR-17 | \$4,700,00 | 14 UND | 0.00% | \$65,800,00 |
| (INCLUYE TUERCA) | | | | |
| CONECTOR NPT EN POLIAMIDA CURVO NEGRO 1/2" | \$6,100,00 | 14 UND | 0.00% | \$85,400,00 |
| (INCLUYE TUERCA) | | | | |
| CABLE VEHICULO 18 CONAL (NEGRO) | \$960.00 | 120 MTS | 0.00% | \$115,200,00 |
| CABLE VEHICULO 18 CONAL (AZUL) | \$960.00 | 120 MTS | 0.00% | \$115,200,00 |
| CABLE VEHICULO 18 CONAL (ROJO) | \$960.00 | 120 MTS | 0.00% | \$115,200,00 |
| RELE BORNERA 24 VDC 1 SPDT REF: 700-HLT1Z24 | \$40,900,00 | 28 UND | | \$1,145,200,00 |
| Sensor inductivo TURK, con distancia de conmutación extendida, rectangular, altura 41 mm, plástico, PBTG REF: NI75U-CP80-VP4X2 | \$ 758,825,00 | 5 UND | | \$3,794,125,00 |

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

| | | | | |
|---|-------------|--------|--------------|-----------------------|
| EJE DE 1/2 ACERO INOXIDABLE 304 | \$54,166,77 | 6 MTS | 0.00% | \$325,000,00 |
| LAMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 3/16 244*122 | \$1,900,000 | 1 UND | 0.00% | \$1,900,000,00 |
| TUBO CUADRADO 1/2 ACERO INOXIDABLE 304 | \$25,000,00 | 6 MTS | 0.00% | \$150,000,00 |
| MUELLE ACERO INOXIDABLE 304 2" D.E. | \$17,853,00 | 14 UND | 0.00% | \$249,942,00 |
| | | | Total | \$9,843,867,00 |

Tabla 3 Cotización de elementos

5.7 Cronograma de Ejecución Del Proyecto

Para la ejecución de este proyecto se podrá ir adelantando el soporte con la respectiva palanca de activación del sensor y sistema de amortiguación en semanas previas a la instalación final, sin necesidad de tener que parar la línea, ni ningún proceso de la empresa.

Con esto solo quedaría modificar la programación del PLC con los ajustes necesarios del proyecto y las adecuaciones tanto mecánicas como eléctricas, para esto si se requiere esperar el paro de producción que se hace en la empresa los viernes a las 10pm donde quedará disponible toda la línea hasta el lunes a las 5am que vuelven a iniciar operación, espacio y tiempo necesario para el ajuste del programa, conexiones eléctricas y la instalación mecánica del sistema. A continuación, podemos observar la tabla 4 con los tiempos estipulados del trabajo, iniciando desde el domingo a las 6am y entregando el sistema operando el mismo domingo a las 4pm.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

| Actividades | Responsabilidad | Domingo | | | | | | | | | | | | Previo al montaje | |
|-------------------------------------|-------------------------|---------|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|-------------------|---|
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | | | |
| Diseñar el sistema | Jonathan, Sergio y Joan | | | | | | | | | | | | | | X |
| cotizar los materiales | Almacenista | | | | | | | | | | | | | | X |
| Programación PLC | Sergio | | X | X | X | X | | | | | | | | | X |
| Fabricación soporte | Joan y Jonathan | | | | | | | | | | | | | | X |
| montaje Soporte | Sergio | | | | | | | | | | | | | | X |
| Cableado sensor, relè y entrada PLC | Sergio | | | | | | | | | | | | | | X |
| Cargar programa PLC | Sergio | | | | | | | | | | X | X | | | |
| Validación sistema | Jonathan, Sergio y Joan | | | | | | | | | | | | X | X | |

Tabla 4 Cronograma de actividades TTS

Se Diseñó un sistema electromecánico funcional con una eficiencia casi del 95% el cual permite reducir los tiempos y aumentar la disponibilidad en un 97 %.

Inicialmente se realizó el montaje del dispositivo en el estado 8 del TTS, en el lado izquierdo del mismo. Se obtuvo que en 16 días se activó en dos ocasiones este dispositivo, evitando daños de una puerta mal asegurada y una cabina mal enganchada. Al mes siguiente, se destruyó una cabina que estaba mal enganchada por el operario y esta flotó al lado derecho de este estado, por esta razón se instaló otro dispositivo en el lado derecho del estado 8 (ver figura 61). Ese mes la disponibilidad en el estado 8 después de la instalación de ambos dispositivos fue superior al 94 %.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |



*Figura 61 Sensores instalados en el estado 8
Foto tomada el túnel de tratamiento estado 8 en Sofasa posterior a las tomas iniciales (figura 56) dispositivos electromecánicos
en ambos lados de los elevadores del estado 8 TTS*

En los tres primeros meses después de la instalación del dispositivo en el estado 8, solo se ha detenido este estado por daños en mangueras de centradores y un sensor malo, daños que no afectan la calidad de la producción y en que los tiempos de paro de línea son de 5 minutos, además se ha evitado la destrucción de 7 cabinas por errores de operarios. El dispositivo también indicó que el elevador anterior presentaba desbalanceo por distensión de cadenas generando que el sistema instalado se activara constantemente porque los elevadores no estaban correctamente nivelados, este equipo fue intervenido fuera de producción a causa de esto.

Luego de que el sistema ubicado en el estado 8 fuera un éxito la empresa dio el aval de instalar este mecanismo a los dispositivos de los otros estados del TTS obteniendo los siguientes datos en cuanto a disponibilidad se refiere (ver tabla 5, figura 62, 63 y 64)

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

| MES | DISPONIBILIDAD |
|----------------------------|----------------|
| may-22 | 81,50% |
| jun-22 | 95,00% |
| jul-22 | 93,70% |
| ago-22 | 97,90% |
| sep-22 | 97,60% |
| oct-22 | 98,33% |
| nov-22 | 97,90% |
| DISPONIBILIDAD 2022 | 94,56% |

Tabla 5 Disponibilidad TTS

Datos obtenidos por la empresa Renault Sofasa después de la instalación de los dispositivos de detección electromecánicos en el túnel de tratamiento



Figura 62 Disponibilidad TTS 2022

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |



Figura 63 Horas intervenciones TTS Noviembre

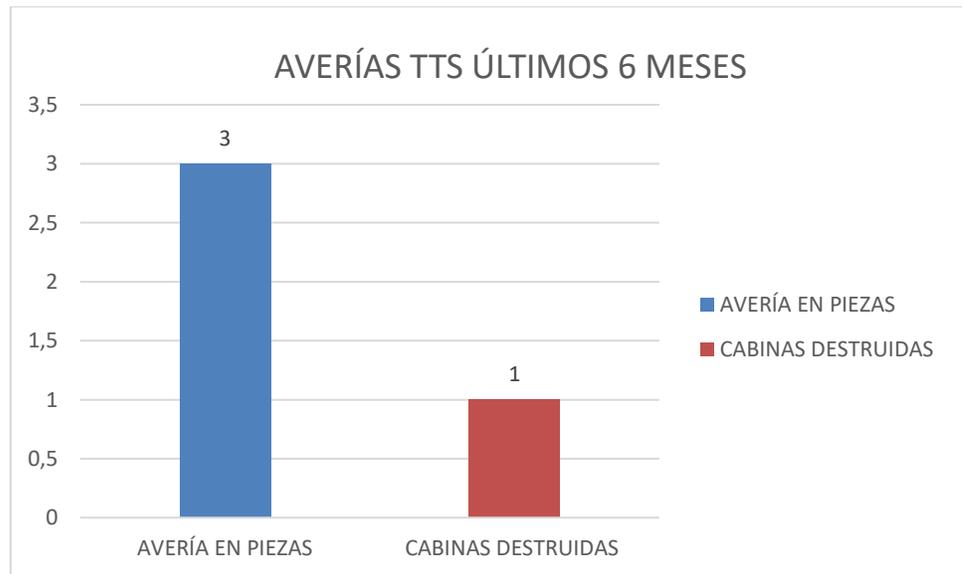


Figura 64 Avería después de la instalación de los dispositivos

Para febrero del 2023 se tiene una disponibilidad acumulada en el TTS de 97.9% (ver figura 62), lo cual se ve reflejada en la productividad y la calidad del producto final a la salida del proceso de pintura.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

5.8 Evaluación Económica Del Proyecto

Sumando todos los elementos utilizados para la elaboración de este proyecto sin incluir la mano de obra y los materiales que reutilizamos tenemos un gasto de \$9.843.867 pesos colombianos (ver tabla 3). Por otro lado, analizando la figura 5 encontramos que son 35 cabinas destruidas y 49 daños en piezas en los últimos tres años lo que genera un sobrecosto aproximado de \$171.500.000. Comparando las figuras 5 y 64 tenemos una mejora evidente pronosticada para 3 años de 6 cabinas destruidas lo que en costos sería \$25.200.000, comparando con la figura 5 el ahorro en tres años sería de \$121.800.000 por cabinas destruidas y en piezas sería de \$15.500.000 de ahorro por avería en piezas.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

Conclusiones

Los dispositivos electromecánicos en procesos de producción industriales son altamente beneficiosos ya que minimizan la cantidad de intervenciones manuales, lo que se traduce en reducción de costos por mano de obra, errores en la producción y/o defectos de calidad, incluso aumento en los indicadores requeridos en seguridad y salud y trabajo

Para este caso, en Sofasa estos dispositivos resultan siendo un apoyo muy grande para la reducción de tiempos y costos que son generados por las constantes interrupciones en los subprocesos de pintura en el TTS, e hecho de mejorar los indicadores de operatividad en la línea, se garantiza que los procesos son confiables, eficientes y eficaces.

Se logra describir cada variable del proceso con análisis de la operación para complementar con un sistema electromecánico automático que arroje resultados positivos de mejora en el TTS y que a su vez con estos dispositivos automáticos como sensores respondan a algún tipo de información física que se emite para conocer la posición de las cabinas sin que esta tenga algún tipo de maltrato.

Se rediseña el programa del PLC actual incluyendo el monitoreo de los elevadores y las posiciones de las cabinas para poder parar el sistema si hay activaciones de los sensores que puedan causar daños en los equipos y garantizar que en esta zona no se presenten pérdidas.

A partir de las simulaciones del sistema propuesto, donde se compara las posiciones de colisión de las cabinas, se determina la viabilidad de la instalación de un mecanismo de activación con señal controlada que pare el proceso a tiempo antes de tener percances o daños.

Para la empresa es un proyecto muy beneficioso por la evaluación de los costos

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

Referencias

- Agudelo, N.Tano, G., & Vargas, C. A. (2020). Historia de la Automatización. Bogotá. Nov1.
<http://ingenierovizcaino.com/ecci/aut1/corte1/articulos/Historia%20de%20la%20Automatizacion.pdf>
- Antúnez Soria F.M. (2016). Puesta en marcha de sistemas de automatización industrial. ELEM0311. ed. Antequera, Málaga: IC Editorial, 2016. 399 p.
<https://elibro.bibliotecaitm.elogim.com/es/ereader/bibliotecaitm/59240?page=1>.
- Caicedo-Erasoa, J. C., Varón-Sernab, D. R., & Díaz Arango, F. O. (2012). Redes industriales. Vector, 7, 12-17.
- Creus A. (1997). Instrumentación Industrial. Alfaomega: Barcelona. 741 p
- Córdoba Nieto, E. (2006). Manufactura y automatización Ingeniería e Investigación, vol. 26, núm. 3, diciembre, pp. 120-128 Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia.
- Enríquez Harper, G. (1996). Fundamentos de protección de sistemas eléctricos por relevadores (2a.ed.). México: Limusa.
- Fieldbus Foundation. (2006). Foundation Technology, Glossary.
http://www.fieldbus.org/index.php?option=com_glossary&func=display&letter=F&Itemid=192&catid=72&page=1
- IEEE Computer Society. (2001). About the IEEE Computer Society. Lan's design.
<http://www.computer.org/web/about/>.
- Kashel H., Pinto E. (2002). Análisis del estado del arte de los buses de campo aplicados al control de procesos industriales. Ciencia Abierta, 19:8p.
- Larmer, J. y Mergendoller, J. (2010). 7 Essentials for Project-Based Learning. Educational Leadership, 68, (1)
- Londoño Tavera, V. M. (2016). Automatización e implementación de sistema de alarma y paro de máquina selladora de cargaderas.
- McFarlane I. (1997). La automatización de la fabricación de alimentos y bebidas. Madrid Vicente: Madrid. 300 p.
- Mejía Arango, J. G. (2009). Introducción a las comunicaciones industriales con profibus: aplicaciones con controladores lógicos programables y variadores de velocidad. Textos Académicos.
- Moreno, E. G. (2001). Automatización de procesos industriales. Valencia: Alfaomega.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

Muñoz J.M. (2007). Estudio de aplicación de los estándares Devicenet y ControlNet de comunicaciones industriales como solución de una red de campo. Trabajo de titulación (Ingeniero en Electrónica). Escuela de Electricidad y Electrónica, Universidad Austral de Chile: Valdivia, Chile. 387 p.

PI. (2010). About PI. PROFIBUS and PROFINET International (PI). Disponible en: <http://www.profibus.com/pi-organization/aboutpi/> [Visitada en julio de 2010]. Rodríguez P.A. (2007). Sistemas SCADA

Rodríguez de Ávila, J.E. (2012). Buenas prácticas para diseño de HMI de alto rendimiento.

<https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/536?locale-attribute=en#page=1>

Rodríguez Penin, Antonio (2007). Sistemas SCADA. 2 ed. México D.F.: Marcombo. 19 p. ISBN: 978-84-267-1450

Sarah Pink & Shanti Sumartojo (2018) The lit world: living with everyday urban automation, *Social & Cultural Geography*, 19:7, 833-852, DOI: 10.1080/14649365.2017.1312698

Salazar C. A., & Correa Ortiz, L. C (2011). Buses de campo y protocolos en redes industriales. *Ventana informática*,

Sanchis Llopis, R., Romero Pérez, J. A., & Vicent Ariño, C. (2010). *Automatización industrial*. Universitat Jaume

Serna Ruiz A. Ros García Francisco Antonio & Rico Noguera J. C. (2010). *Guía práctica de sensores*. Creaciones

Copyright.

Soria, F. M. A. (2018). *Puesta en marcha de sistemas de automatización industrial*. ELEM0311. IC Editorial.

| | | | |
|---|---|---------|----------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 04 |
| | | Fecha | 24- 02-2020 |

FIRMA ESTUDIANTES _____

FIRMA ASESOR _____

FECHA ENTREGA: _____