



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño de un sistema automatizado de pintura para la línea de cardanes en la compañía

DANA Transejes Ecuador

Heredia Jaramillo, Tito Jordan

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico

Ing. Torres Vásquez, Katya Mercedes.

23 de enero de 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenido



escaneo plagio TESIS HEREDIA_organized (1).pdf

Scanned on: 23:45 February 23, 2023 UTC



Overall similarity score



Results found



Total words in text

	Word count
Identical	92
Minor Changes	42
Paraphrased	102
Omitted	3566



Firmado electrónicamente por:
**KATYA MERCEDES
TORRES VASQUEZ**



Departamento de Eléctrica y Electrónica
Carrera de ingeniería en electromecánica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Diseño de un sistema automatizado de pintura para la línea de cardanes en la compañía DANA Transejes Ecuador”** fue realizado por el señor **Heredia Jaramillo, Tito Jordan**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 20 de Enero 2023



Firmado electrónicamente por:
**KATYA MERCEDES
TORRES VASQUEZ**

.....
Ing. Torres Vásquez, Katya Mercedes
C.C.: 050134561-5

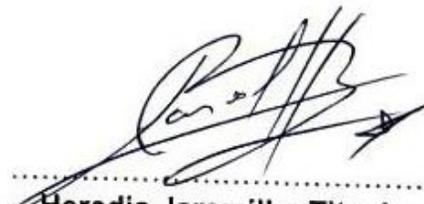


**Departamento de Eléctrica y Electrónica
Carrera de ingeniería en electromecánica**

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Heredia Jaramillo, Tito Jordan**, con cédula de ciudadanía n°1722687405, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño de un sistema automatizado de pintura para la línea de cardanes en la compañía DANA Transejes Ecuador”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 20 de Enero 2023



.....
Heredia Jaramillo, Tito Jordan

C.C.: 172268740-5



**Departamento de Eléctrica y Electrónica
Carrera de Ingeniería en Electromecánica**

Autorización de Publicación

Yo **Heredia Jaramillo, Tito Jordan**, con cédula de ciudadanía n°172268740-5, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Diseño de un sistema automatizado de pintura para la línea de cardanes en la compañía DANA Transejes Ecuador** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 20 de Enero 2023

Heredia Jaramillo, Tito Jordan

C.C.: 172268740-5

Dedicatoria

Querida madre, hermano y padre, lo logré

No hay suficientes palabras para expresar lo agradecido que estoy por todo el apoyo y amor que me han brindado a lo largo de mi vida y durante este viaje académico. Sin su paciencia, aliento y motivación constante, no habría llegado hasta aquí.

A mi mamá Mónica, gracias por ser mi roca, mi confidente y mi mejor amiga. Tu fuerza y sabiduría me han inspirado a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

A mi hermano Frank, gracias por ser mi compañero de aventuras y mi confidente en la vida. Tu apoyo incondicional me ha ayudado a mantenerme centrado y motivado para alcanzar mis metas.

A mi papá Tito, gracias por ser mi modelo a seguir y por mostrarme la importancia del trabajo duro y la determinación. Tu amor y apoyo inquebrantable me han llevado a donde estoy hoy.

Esta tesis es un testimonio de mi gratitud hacia ustedes. Espero que esta dedicatoria sea una pequeña muestra de lo agradecido que estoy por todo lo que han hecho por mí. Los amo mucho.

Agradecimiento

En primer lugar; Dios, gracias por ser mi fuente de fuerza y por darme la sabiduría y la perseverancia necesarias para completar esta tesis. Sin tu gracia y amor, nada de esto sería posible.

A mis profesores, gracias por compartir su conocimiento y experiencia conmigo. Gracias por ser mentores increíbles y por ayudarme a alcanzar mi potencial académico y profesional.

En especial, quiero agradecer a mi tutora de tesis, Ing. Torres Vásquez Katya Mercedes. Su dedicación, paciencia y apoyo constante han sido fundamentales en cada etapa de este trabajo. Sus comentarios y sugerencias me han guiado en la elaboración de una tesis sólida y coherente.

Este logro no habría sido posible sin el apoyo de todos ustedes. Estoy profundamente agradecido por todo lo que han hecho por mí. Espero honrar su dedicación y enseñanzas en mi vida personal y profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Caratula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenidos	8
Índice de figuras	12
Índice de tablas.....	15
Resumen.....	16
Abstract	17
Capítulo I: Marco Metodológico de la Investigación	18
Planteamiento del Problema.....	18
Antecedentes	18
Justificación e importancia.....	19
Objetivos	20
<i>Objetivo general</i>	20
<i>Objetivos específicos</i>	20
Capítulo II: Marco Teórico	21
Definición Eje de Transmisión.....	21
Pintura.....	22
<i>Definiciones Básicas</i>	22
<i>Métodos De Aplicación</i>	24
<i>Pulverización a Alta Presión ("Airless Spray")</i>	24

Sistema de transmisión mecánica	26
<i>Tipos de sistemas de transmisión lineal mecánica</i>	26
Sistemas de automáticos industriales	29
<i>Definiciones</i>	29
<i>Tipos de sistemas automáticos</i>	29
<i>Lazos de control</i>	32
<i>Elementos de un Sistema de Automatización</i>	33
Controlador lógico programable (PLC)	35
<i>Definición</i>	35
<i>Arquitectura del API</i>	36
<i>Constitución física</i>	37
Sensores	39
<i>Definición Sensores</i>	39
<i>Sensores de comportamiento discreto</i>	39
<i>Sensores de objeto por contacto</i>	40
<i>Sensores de proximidad del tipo discretos</i>	41
Solenoides	43
Relé en estado solido	44
Capítulo III: Diseño del sistema mecánico	45
Introducción.....	45
Mediciones del espacio de trabajo	45
Parámetros de diseño mecánico	46
Sistema de aplicación de pintura	47
<i>Equipo de aplicación de pintura</i>	47
<i>Tipo de esmalte utilizado</i>	47

Selección del sistema de transmisión mecánica	48
Diseño de sistema de movimiento lineal.	49
<i>Esquema del diseño preliminar del sistema de movimiento lineal.....</i>	<i>49</i>
<i>Funcionamiento del sistema de transmisión mecánica</i>	<i>50</i>
<i>Selección de cadena</i>	<i>51</i>
<i>Selección de catarina (sprocket).....</i>	<i>52</i>
Diseño de carrito móvil	54
<i>Determinación de cargas.....</i>	<i>54</i>
<i>Informe del análisis estático</i>	<i>55</i>
Selección de las ruedas ranuradas en V.....	57
Diseño de las poleas de cadena	58
Diseño del soporte de pistola de pintura.....	58
<i>Informe del análisis estático</i>	<i>59</i>
Diseño de la estructura metálica base.....	61
<i>Diseño de la estructura base.....</i>	<i>61</i>
<i>Determinación de cargas.....</i>	<i>62</i>
<i>Informe del análisis estático</i>	<i>63</i>
Capítulo IV: Diseño del sistema eléctrico y de control	65
Análisis funcional.....	65
Diagrama funcional del proceso automático.....	65
Selección del motor.....	67
Selección del Driver del motor paso a paso	68
<i>Input & Output:.....</i>	<i>69</i>
<i>DIP Switch</i>	<i>70</i>
Selección del PLC.....	71
<i>Variables del PLC.....</i>	<i>73</i>

<i>Programación del PLC</i>	74
Selección del módulo HMI	77
<i>Diseño de la interfaz HMI</i>	78
Selección de sensores	79
<i>Sensores por contacto (Fin de carrera)</i>	79
<i>Sensor Inductivo</i>	80
Selección de los solenoides de aire y pintura.....	80
Selección del relé para los solenoides	81
Selección de fuente de alimentación	82
Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.....	83
Conclusiones.....	83
Recomendaciones.....	84
Bibliografía	85
Anexos:.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Transmisiones de propulsión delantera y propulsión trasera.</i>	21
Figura 2 <i>Composición del eje de transmisión</i>	22
Figura 3 <i>Principio de funcionamiento del sistema sin aire comprimido</i>	25
Figura 4 <i>Diferentes formas de alimentación del producto a la pistola.</i>	25
Figura 5 <i>Sistema Piñón Cremallera</i>	26
Figura 6 <i>Sistema Correa de Caucho</i>	27
Figura 7 <i>Tornillo de avance impulsado por un servomotor.</i>	27
Figura 8 <i>Transmisión por cadena de rodillos</i>	28
Figura 9 <i>Línea de ensamble automático</i>	30
Figura 10 <i>Maquinaria industrial automatizada con base en PLC.</i>	31
Figura 11 <i>Celda de manufactura automatizada con base en PLC.</i>	31
Figura 12 <i>Sistema de lazo abierto controlado por tiempo</i>	32
Figura 13 <i>Estructura de un sistema automatizado</i>	33
Figura 14 <i>Controlador Lógico Programable (PLC)</i>	35
Figura 15 <i>Arquitectura de un Autómata Programable Industrial.</i>	36
Figura 16 <i>Autómata programable modular Modicon M241</i>	37
Figura 17 <i>PLC modular Siemens SIMATIC S7-1200</i>	37
Figura 18 <i>Elementos constitutivos de un autómata modular</i>	38
Figura 19 <i>Respuesta de un sensor del tipo discreto</i>	40
Figura 20 <i>Estructura de un interruptor de contacto</i>	40
Figura 21 <i>Sensores magnéticos del tipo estado sólido</i>	42
Figura 22 <i>El sensor de tipo reed switch</i>	42
Figura 23 <i>Sensor magnético inductivo</i>	43
Figura 24 <i>Válvula Solenoide</i>	44
Figura 25 <i>Relé en estado sólido 1 canal</i>	44

Figura 26 Estructura metálica de la cabina de pintura con proceso manual	45
Figura 27 Esquema del sistema de pintado de cardanes DANA Tranejes Ecuador.....	46
Figura 28 Diagrama de pistola de pintura con DeVilbiss JGA-510 sus partes.	47
Figura 29 Vista frontal del Sistema de transmisión lineal mecánica.....	49
Figura 30 Vista trasera del Sistema de transmisión lineal mecánica.	50
Figura 31 Movimiento del sistema de transmisión lineal mecánica.....	50
Figura 32 Diagrama de cargas del sistema de movimiento lineal.	51
Figura 33 Cadena de rodillo simples N° ANSI 40.	52
Figura 34 Sprockets de Acero - Paso 1/2 " ANSI N°40 - 13 Dientes.....	53
Figura 35 Diseño 3D del carrito móvil.....	54
Figura 36 Diagrama de cargas sobre el carrito móvil.....	55
Figura 37 Análisis de tensión de Von Mises carrito móvil	56
Figura 38 Análisis de desplazamiento carrito móvil	57
Figura 39 Rueda ranurada en V	57
Figura 40 Polea de cadena.	58
Figura 41 Sistema de soporte de pistola.	59
Figura 42 Diseño de soporte de pistola.	59
Figura 43 Análisis de tensión de Von Mises soporte de pistola	60
Figura 44 Análisis de desplazamiento soporte de pistola.	60
Figura 45 Diseño de estructura metálica del sistema.	61
Figura 46 Análisis de tensión de Von Mises de estructura metálica del sistema.....	63
Figura 47 Análisis de desplazamiento de estructura metálica del sistema.....	64
Figura 48 Arquitectura del sistema automatizado de pintura	65
Figura 49 Diagrama funcional del proceso de pintura con el sistema automático.....	66
Figura 50 Motor paso a paso Nema 23	67
Figura 51 Driver de motor PaP Tb6600 Nema 23.....	68

Figura 52 <i>Conexión típica del driver con una unidad de control.</i>	70
Figura 53 <i>Dip Switch del controlador TB6600</i>	70
Figura 54 <i>Configuraciones de DIP Switch en el TB6600.</i>	71
Figura 55 <i>Controlador Siemens S7-1200</i>	72
Figura 56 <i>Configuración del “Objeto tecnológico 1”</i>	74
Figura 57 <i>Configuración del “Objeto tecnológico 2”</i>	75
Figura 58 <i>Configuración del “Objeto tecnológico 3”</i>	75
Figura 59 <i>Configuración del “Objeto tecnológico 4”</i>	76
Figura 60 <i>Configuración del “Objeto tecnológico 5”</i>	76
Figura 61 <i>Configuración del “Objeto tecnológico 6”</i>	77
Figura 62 <i>SIMATIC HMI KTP400 BASIC PN</i>	77
Figura 63 <i>Imagen raíz de la Pantalla HMI</i>	78
Figura 64 <i>Imagen de ingreso de datos de la pantalla HMI</i>	79
Figura 65 <i>Sensor final de carrera.</i>	79
Figura 66 <i>Sensor de proximidad inductivo</i>	80
Figura 67 <i>Válvula solenoide</i>	81
Figura 68 <i>Relé estado sólido</i>	82
Figura 69 <i>Fuente de corriente continua para el PLC</i>	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Especificaciones de las partes de la pistola de pintura.</i>	47
Tabla 2 <i>Especificaciones de cadena.</i>	52
Tabla 3 <i>Lista de cortes de acero estructural para la estructura metálica.</i>	62
Tabla 4 <i>Características del motor Nema 23.</i>	68
Tabla 5 <i>Principales características del controlador TB6600.</i>	69
Tabla 6 <i>Características del PLC S7-1200.</i>	73
Tabla 7 <i>Variables de entrada del PLC</i>	73
Tabla 8 <i>Variables de salida del PLC</i>	73
Tabla 9 <i>Variables de memoria del PLC</i>	74

Resumen

En el presente proyecto se plantea la automatización del proceso de pintura en la línea de cardanes para mejorar la productividad de la empresa, la calidad del producto, la seguridad y salud de los operarios, además, de la disminución de costos derivados de la producción. Se diseñará un sistema de movimiento lineal electromecánico, el cual moverá linealmente a la pistola atomizadora de pintura que rociará de esmalte al eje de transmisión, el cual a su vez girará longitudinalmente, aplicando la pintura a lo largo y al alrededor de este. El accionamiento del pulverizador será controlado por un PLC y sensores de posicionamiento que permitirán asimilar las diferentes longitudes de los modelos de eje de cardan existentes en el catálogo de la empresa. El primer paso es analizar el procedimiento realizado por los operarios en el proceso manual de pintado, se medirán las dimensiones de la cámara de pintura, el espacio disponible para la instalación, y los puntos clave para la realización del proceso de pintura, tomando en cuenta la seguridad del operario y las potenciales fallas del sistema. Se efectuará el diseño del sistema automático de pintura con la ayuda de la herramienta CAD Inventor Autodesk para el modelado de las piezas y planos de los dispositivos involucrados en la parte mecánica. Se elaborará el diseño de la programación de control del PLC con la herramienta TIA Portal de Siemens, que permita llevar a cabo el proceso acorde a lo establecido en el sistema.

Palabras clave: automatización de procesos, CNC pintura, diseño mecánico, PLC.

Abstract

In the present project, the automation of the painting process in the cardan line is proposed to improve the productivity of the company, the quality of the product, the safety and health of the operators, in addition to the reduction of costs derived from production. A linear electromechanical movement system will be designed, which will linearly move the paint spray gun that will spray enamel on the transmission shaft, which in turn will rotate longitudinally, applying the paint along and around it. The drive of the sprayer will be controlled by a PLC and positioning sensors, which will make it possible to assimilate the different lengths of the transmission shaft models existing in the company's catalogue. The first step is to analyze the procedure carried out by the operators in the manual painting process, the dimensions of the painting chamber, the space available for installation, and the key points for carrying out the painting process will be measured, taking into account operator safety and potential system failures. The design of the automatic painting system will be carried out with the help of the CAD Inventor Autodesk tool for the modeling of the parts and plans of the devices involved in the mechanical part. The design of the PLC control programming will be developed with the Siemens TIA Portal tool, which allows the process to be carried out according to what is established in the system.

Keywords: process automation, CNC painting, mechanical design, PLC.

Capítulo I

Marco Metodológico de la Investigación

Planteamiento del Problema

Con el afán de la empresa en aumentar la producción de cardanes y ejes vestidos para finales del 2023, gracias a la implementación de nuevos modelos de catálogo y la reactivación económica después de la época de pandemia por el COVID-19, se han propuesto varios proyectos que tienen como finalidad implementar nuevas estrategias para el mejoramiento en la eficiencia y tiempos de producción de la planta.

En la línea de cardanes se fabrican más de 20 modelos de ejes de transmisión, el último proceso antes del empaquetado es el proceso de pintado en donde se aplica una película de convertidor de óxido el cual cura y protege de posibles oxidaciones al eje de transmisión, el proceso se lo realiza completamente a mano a cargo de tres operarios. Dos de ellos se encargan de limpiar, secar y rociar el producto sobre el eje de transmisión que está constantemente girando en torno a su eje longitudinal, mientras que el tercer operario se encarga de la revisión minuciosa del producto en el cual constantemente se detectan fallas que producen fallas en la calidad del producto y pérdidas en el tiempo de producción.

Además, la cabina de pintura en la línea de cardanes no protege adecuadamente a los operarios de las partículas expulsadas por el atomizador de pintura y la rotación del cardán, lo que demanda constante cambio y limpieza en los EPP de los operarios encargados del proceso.

Antecedentes

Transejes Ecuador Cía. Ltda. forma parte de la multinacional autopartista Dana Incorporated, líder global en la fabricación de componentes de tren motriz para vehículos de pasajeros, transporte pesado y vehículos fuera de carretera. La compañía tiene 113 años de actividad a nivel global con más de 90 plantas manufactureras en 26 países alrededor del mundo.

En el Ecuador es la única empresa que fabrica sistemas de transmisión para vehículos ligeros, teniendo como clientes a las ensambladoras locales e internacionales de vehículos tipo pick up o comúnmente conocidas como camionetas y vehículos de carga pesada.

En DANA Transejes Ecuador existen 4 líneas de producción que entregan distintos productos, tubos, ejes diferenciales, cardanes y vestidura de ejes. De la fabricación y ensamble de cada una de estas líneas de producción en la empresa se tiene como producto final Cardanes y Ejes Diferenciales Vestidos. (ESPINOSA, 2019)

Estos productos se distribuyen aproximadamente entre un 80% y 85% para la ensambladora local General Motors - OBB, el restante se distribuye para los otros clientes locales y extranjeros. (ESPINOSA, 2019)

Justificación e importancia

Con la reactivación económica después de la pandemia por el COVID-19, DANA Transejes Ecuador centra sus objetivos en aumentar y mejorar la producción y servicios que brindan a las ensambladoras del área automotriz en el mercado local e internacional. Por este motivo la empresa aplica la política y los principios de Lean Manufacturing. Dentro de estos se encuentran:

- Mejora continua (Kaizen)
- Optimización del uso de los recursos
- Separación Hombre-Máquina
- Detección y solución de problemas desde su origen eliminando defectos (Poka-yoke)

Para esto la empresa constantemente propone a sus colaboradores a enfatizar en la creación de nuevos proyectos que garanticen una mejora, optimicen el uso de recursos o que resuelvan algún problema dentro de los procesos administrativos y de producción.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un sistema automático de pintado líquido para la línea de cardanes en la empresa Dana Transejes Ecuador S.A.

Objetivos específicos

- *Realizar una investigación teórica y de campo sobre cuál es el mejor método para implementar la automatización del proceso de pintura en la línea de cardanes, tomando en cuenta la disponibilidad y distribución del espacio, y el proceso que se lleva a cabo manualmente.*
- *Seleccionar y dimensionar el sistema de movimiento lineal automatizado más conveniente para el proceso de pintura, aplicado para los diferentes modelos de ejes de transmisión presentes en el catálogo de la empresa.*
- *Realizar el diseño CAD del sistema mecánico y la simulación del sistema de control para la puesta en marcha del todo sistema automático de pintura.*
- *Detallar el diseño al departamento competente para la adquisición de los equipos y elementos necesarios en la instalación y puesta en marcha del sistema mecánico, de control y aplicación de pintura.*

Capítulo II

Marco Teórico

Definición Eje de Transmisión

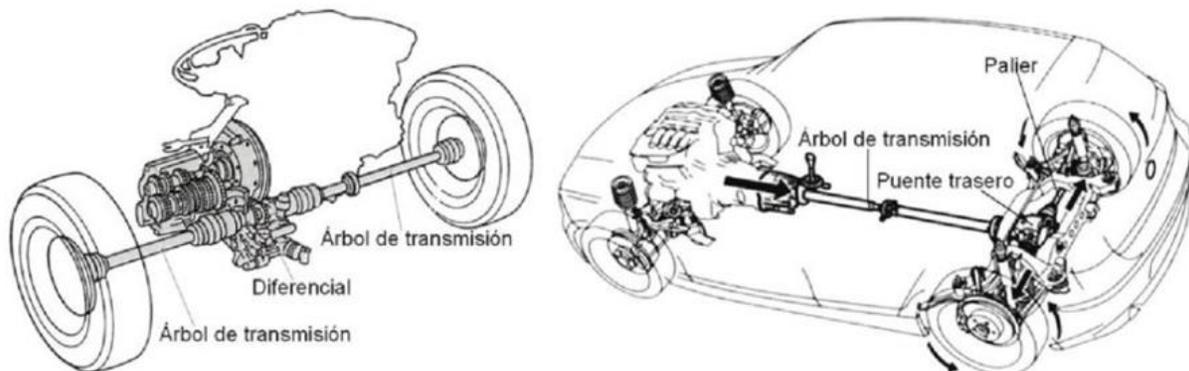
“La transmisión del movimiento de rotación desde la caja de velocidad hasta las ruedas se realiza por medio de ejes de acero llamados comúnmente transmisiones” (Alonso Pérez, 2014).

En función de la implantación del grupo moto propulsor en el vehículo, el sistema de transmisión del movimiento a las ruedas difiere esencialmente de unos modelos a otros, pudiéndose establecer dos grupos:

- Vehículos de tracción delantera.
- Vehículos de propulsión trasera.

Figura 1

Transmisiones de propulsión delantera y propulsión trasera.



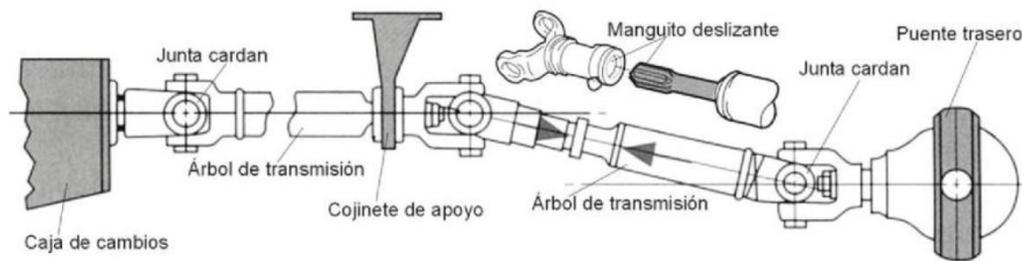
Nota. Tomado de (Alonso Pérez, 2014)

La disposición de un árbol de transmisión para vehículo de propulsión trasera con eje rígido, que se acopla por sus extremos a la caja de cambios y al puente trasero, por medio de juntas cardán, capaces de transmitir el par motor y soportar los esfuerzos que se producen en este trabajo. Debido a la larga distancia entre la caja de cambios y el puente trasero, el árbol de

transmisión suele estar partido, enlazándose sus dos mitades por una tercera junta cardan y un manguito deslizante. Para aligerar el peso del árbol de transmisión se contribuye hueco. Los movimientos relativos del puente trasero con respecto al chasis del vehículo suponen variaciones de la distancia del mismo a la caja de cambios, que implican acortamientos y alargamientos de transmisión, los cuales son absorbidos por el manguito deslizante. (Alonso Pérez, 2014)

Figura 2

Composición del eje de transmisión



Nota. Tomado de (Alonso Pérez, 2014)

Pintura

Definiciones Básicas

La Pintura. Es un material capaz de formar una película continua y uniforme sobre la superficie que se aplica (denominado sustrato), básicamente para protegerla y/o decorarla y puede ser o no pigmentada. Los componentes básicos de las pinturas son: resina (20-60%), pigmento (2- 40%), aditivos (0-5%) y solventes (30-80%) (Quiroz Gaviria, 2021).

Resina o ligantes. Sustancia viscosa en la mezcla, cuya misión es la de mantener unidas las partículas sólidas, pigmento y cargas, una vez la pintura está seca. Según el tipo de resina utilizada la pintura tendrá unas características de secado y resistencia determinadas; entre los tipos de resinas tenemos acrílicas, poliéster, uretano, epóxica, alquidial, entre otras. La

resina define propiedades de la pintura como: dureza, flexibilidad, brillo, DOI, nivelación, resistencia química, mecánica y adhesión (Quiroz Gaviria, 2021).

Pigmento. Son partículas sólidas coloridas e insolubles en el medio en que se encuentran, por lo que están en dispersión, proporcionan propiedades de relleno al material y protección a la corrosión. Se debe cuidar la relación entre los pigmentos y las resinas, ya que dicha relación influye en las características o propiedades como: resistencia a la humedad, protección a la corrosión, % de sólidos, nivelación, brillo y otras; dicha proporción en el proceso de formulación se conoce como pigment/binder ratio (P/B) (Quiroz Gaviria, 2021).

Aditivos. Son productos que se adicionan en pequeña cantidad en la formulación de la pintura, con alto grado de eficiencia, capaces de modificar significativamente las propiedades específicas de la pintura (Quiroz Gaviria, 2021).

Solventes. Líquidos volátiles de olor característico, usados para facilitar el manejo y la aplicación de la pintura; estos controlan propiedades de aplicación tales como: viscosidad, resistividad, sólidos, resistencia al descuelgue (Quiroz Gaviria, 2021).

Resinas alquídicas. Es un poliéster complejo modificado con aceite que sirve como agente formador de películas en algunas pinturas, su nombre se debe al origen químico de la resina, que se basa comúnmente en una reacción de polimerización entre un alcohol y un ácido di carboxílico. Cuando se agrega un aceite insaturado como el aceite de tung, linaza o ricino a los compuestos formadores de éster, el resultado es un poliéster ramificado que contiene grupos laterales de ácidos grasos (Quiroz Gaviria, 2021).

Pintura alquídica. Una pintura alquídica típica consiste en el poliéster modificado con aceite para formar la película de recubrimiento, un disolvente como hexano o mineral spirits para ayudar en la aplicación, naftenatos de metal para catalizar la reacción de secado y pigmento para proporcionar color. El contenido de aceite en la formulación puede variar, un alquídico de aceite largo contiene 60% o más de ácido graso en peso, un alquídico de aceite

medio contiene entre 40-60% de ácido graso y un alquídico corto contiene menos del 40% (Quiroz Gaviria, 2021).

Viscosidad. Indica la resistencia que ofrecen los fluidos al flujo, siendo uno de los principales factores a controlar en la pintura. Entre las formas de medir esta propiedad tenemos: copas de viscosidad (Ford 4, Din 4, Zhan, etc.), viscosímetro Brookfield, viscosímetro KU, entre otros (Quiroz Gaviria, 2021).

Métodos De Aplicación

Los principales métodos de aplicación de pinturas y barnices son:

- Aplicación con pistola:
 - Atomización con aire,
 - Atomización sin aire (airless).
 - Electrostática.
- Aplicación con brocha y rodillo.
- Aplicación con cepillos y llana de materiales espesos.
- Inmersión trenes de pintado.

La pérdida de producto al aplicar a pistola es grande, pero gracias a la velocidad de aplicación, las pérdidas se compensan de sobra con el ahorro de mano de obra. La aplicación con pistola electrostática combina la velocidad con la mínima pérdida de pintura, por lo que procura su empleo tanto en aplicaciones en taller como en obras; sin embargo, tienen limitaciones que impiden casi totalmente su uso extensivo (Alonso Felipe, 2020).

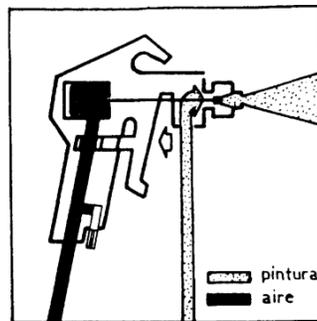
Pulverización a Alta Presión ("Airless Spray")

Este sistema utiliza una bomba que toma la pintura desde un depósito y la presuriza dentro del sistema, luego pasa por una manguera hasta llegar a una pistola de aspersion que libera la pintura a una alta presión (figura 3 y 4). Su limpieza y mantenimiento es más difícil que otros métodos, es el mejor método en rendimiento de m² por día (Tutiven Bonilla, 2021).

El recubrimiento airless le permite aplicar una película gruesa con un mínimo número de pasadas o aplicar una amplia gama de productos en un corto período de tiempo. Las nebulas se reducen significativamente en comparación con la pintura en aerosol tradicional porque no hay aire para atomizar y que pueda rebotar. Además, el abanico de rociado es generalmente más pequeño que los atomizadores con aire, lo que resulta en una menor pérdida de producto.

Figura 3

Principio de funcionamiento del sistema sin aire comprimido



Nota. Tomado de (Alonso Felipe, 2020).

Gracias a este sistema se pueden pintar los esquemas de espesor alto los cuales incluyen pinturas de alta viscosidad aparente (tixotrópicas). Se logran así espesores por mano superiores a la pintura que se puede aplicarse sin dilución (Alonso Felipe, 2020).

Figura 4

Diferentes formas de alimentación del producto a la pistola.



Nota. Tomado de (Alonso Felipe, 2020).

Sistema de transmisión mecánica

Sistema de transmisión mecánica. Es un sistema acoplado al eje del motor el cual otorga movimiento mecánico para la traslación de cada eje de la máquina, pueden ser de tipos: piñón-cremallera, tornillo de bolas recirculantes, correa de caucho y cadenas-catarinas (Castiglione, 2017).

Tipos de sistemas de transmisión lineal mecánica

Transmisión por piñón-cremallera. Es un tipo de sistema de transmisión que se entiende como un conjunto de dos engranajes, el primero, el piñón, es un engranaje recto común y el segundo, la cremallera se interpreta como un engranaje recto con un círculo base de tamaño infinitamente grande tal que se convierta en una línea recta, comúnmente se usa en la conversión de movimiento giratorio en lineal o viceversa (Norton, 2011).

Figura 5

Sistema Piñón Cremallera

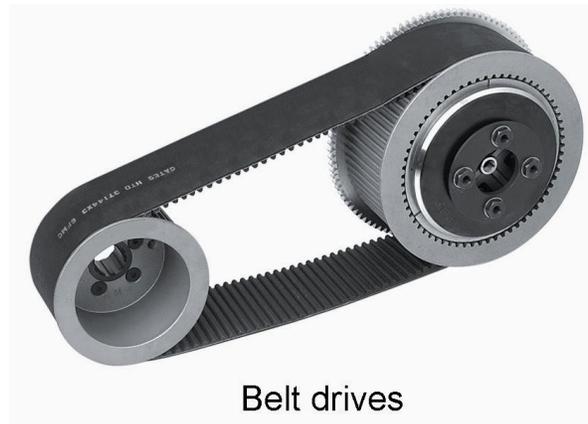


Nota. Tomado de Axis Automation.

Transmisión por correa de caucho. Es un componente diseñado para la transmisión de movimiento mecánico compuesto entre dos piñones un conductor y un conducido, y una correa para unirlos, normalmente el material de esta es caucho con fibras de alta resistencia como espuma de poliuretano, neopreno o uretano (Student Lesson, 2020).

Figura 6

Sistema Correa de Caucho

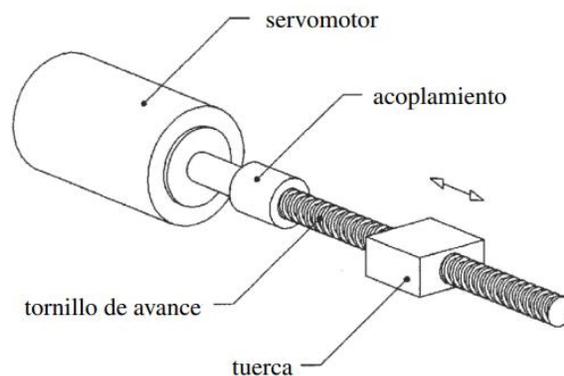


Nota. Tomado de Vinodh Reddy Chennu

Transmisión por tornillo de potencia. Los tornillos de potencia, llamados también tornillos de avance convierten el movimiento giratorio en movimiento lineal en actuadores, máquinas de producción y gatos mecánicos, entre muchas otras aplicaciones. Son capaces de obtener ventajas mecánicas muy grandes; por consiguiente, pueden elevar o mover grandes cargas (Norton, 2011).

Figura 7

Tornillo de avance impulsado por un servomotor.



Nota. Tomado de (Norton, 2011)

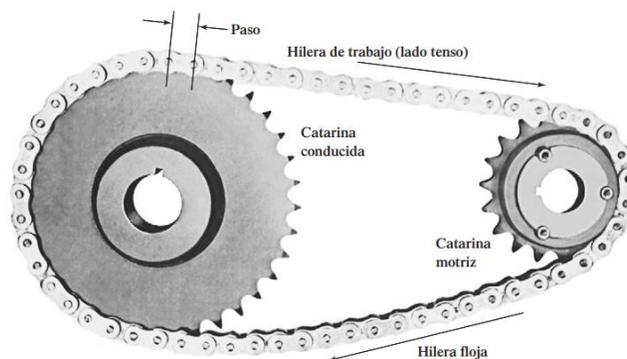
Una de las aplicaciones de los tornillos de potencia son los actuadores lineales que operan con el mismo principio del gato mecánico, pero el giro de la tuerca se motoriza para trasladarlo al tornillo, o bien, se motoriza el giro del tornillo para trasladarlo a la tuerca, como se ilustra en la figura 7. Estos dispositivos se usan en máquinas herramientas para mover el banco y la pieza de trabajo bajo la herramienta de corte, en máquinas de ensamble para posicionar partes, y en aeroplanos para mover las superficies de control, así como en muchas otras aplicaciones (Norton, 2011).

Transmisión por cadena. Una cadena es un elemento de transmisión de potencia formado por una serie de eslabones unidos con pernos. Este diseño permite tener flexibilidad, y permite además que la cadena transmita grandes fuerzas de tensión.

El tipo de cadena más común es la cadena de rodillos, en la que el rodillo sobre cada perno permite tener una fricción excepcionalmente baja entre la cadena y las catarinas. Existen otros tipos que comprenden una variedad de diseños de eslabones extendidos, y se usan principalmente en aplicaciones de transportadores (Mott, 2006).

Figura 8

Transmisión por cadena de rodillos



Nota. Tomado de Rexnord, Inc., Milwaukee, WI

Sistemas de automáticos industriales

Definiciones

Un Sistema Automático industrial es un conjunto de dispositivos eléctricos, mecánicos, electrónicos o la combinación de ellos, los cuales pueden estar interconectados entre sí para controlar un proceso. El objetivo de este sistema es dar un resultado en forma común, que sea repetitivo en la variable que va a ser controlada, en algunos casos dentro de un margen de error, un en otros más críticos cuya operación debe ser sin error (Soria Tello, 2015).

Un sistema de automatización se entiende como la utilización de diversas tecnologías para monitorear y/o controlar un proceso, agregando precisión, calidad, seguridad, productividad, y eficiencia a las operaciones.

Cuando nos referimos a la automatización industrial, los procesos productivos y/o maquinarias que se encuentren automatizados funcionan adecuadamente mediante la integración de sensores, controladores y actuadores que ejecutan diferentes tareas bajo una programación establecida, con el objetivo de optimizar, flexibilizar y mejorar el funcionamiento de dicho proceso o planta industriales como unidad integral (IPtech Engineering, 2022).

Tipos de sistemas automáticos

Los sistemas automáticos pueden ser clasificados básicamente en tres tipos:

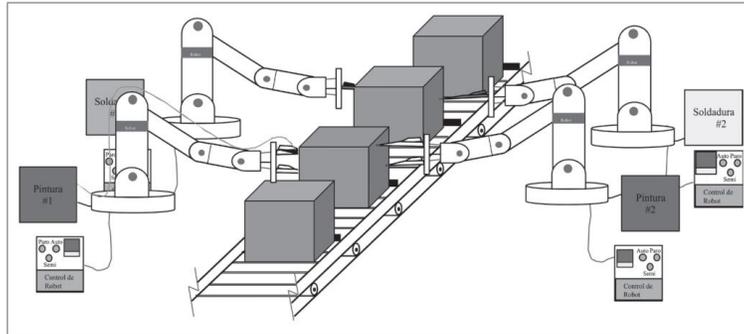
- i) Sistemas de automatización fija.*
- ii) Sistemas de automatización programable.*
- iii) Sistemas de automatización flexible.*

Sistemas de automatización fija. Se utilizan cuando la producción es de alto volumen y por lo tanto se puede justificar el elevado costo del diseño del equipo especializado para el procesamiento del producto, con un rendimiento alto y tasas de producción elevadas (Soria Tello, 2015).

El inconveniente de esta clase de automatización es su ciclo de vida, el cual está de acuerdo con la vigencia del producto en el mercado. En la Figura 9 se observa un ejemplo de una línea de ensamble automático.

Figura 9

Línea de ensamble automático



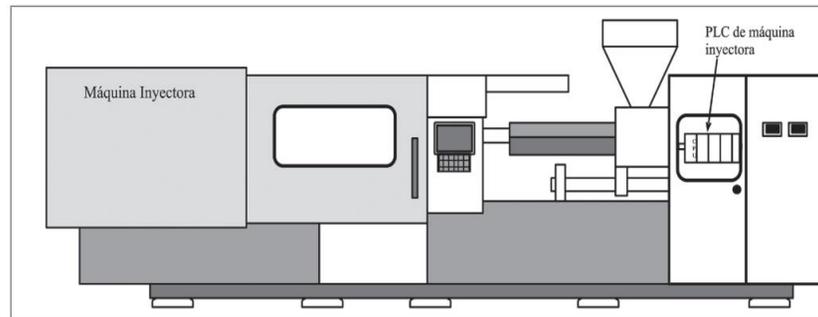
Nota. Tomado de (Soria Tello, 2015)

Sistemas de automatización programable. La aplicación de este tipo de sistemas se da en volúmenes de producción relativamente bajos. Puesto que hay una gran diversidad de productos que pueden ser manufacturados bajo este concepto, el equipo de producción se diseña para adaptarse a las variaciones de las configuraciones del producto.

La secuencia de operación se controla mediante un programa que se expresa como instrucciones codificadas para que el sistema pueda interpretarlas. De este modo es posible preparar y programar nuevos programas en el equipo para producir nuevos productos. Ejemplos de ello son las máquinas herramientas de control numérico, robots y maquinaria industriales automatizadas con base en controladores lógicos programables (PLC).

Figura 10

Maquinaria industrial automatizada con base en PLC.



Nota. Tomado de (Soria Tello, 2015)

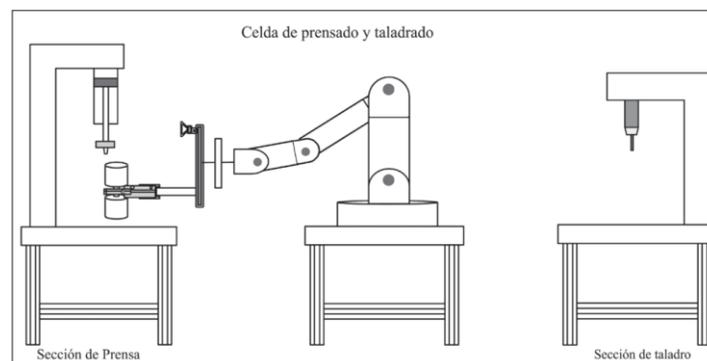
Sistemas de automatización flexible. Este tipo de sistemas es una extensión de la automatización programable. Dicho concepto se ha desarrollado en los últimos años y es capaz de producir una variedad de productos o partes sin perder mucho en pasar de un producto a otro, que por lo regular es tiempo programado (Soria Tello, 2015).

Algunas características de la automatización flexible son:

- i) Producción continua de la mezcla de productos,*
- ii) Tasa de producción media,*
- iii) Flexibilidad a las variaciones del diseño del producto. Un ejemplo de este sistema es la celda de manufactura automatizada con base en PLC.*

Figura 11

Celda de manufactura automatizada con base en PLC.



Nota. Tomado de (Soria Tello, 2015)

Lazos de control

Hay dos tipos de lazos de control según la conexión de los dispositivos del sistema automático:

- *Lazo Abierto*
- *Lazo Cerrado*

Sistema de lazo abierto discreto. En los sistemas de lazo abierto no se realizan mediciones de la variable que se va a controlar (figura 12), y generalmente se diseña con base en el tiempo o por conteo. En un sistema industrial de lazo abierto el error se lo identifica de manera empírica en la mayoría de las aplicaciones, a través de los sentidos de un operador. Por lo tanto, este tipo de sistemas son muy sencillas en su construcción y no requieren de mucha tecnología, además de ser en general económicos (Soria Tello, 2015).

Figura 12

Sistema de lazo abierto controlado por tiempo



Nota. Tomado de (Soria Tello, 2015)

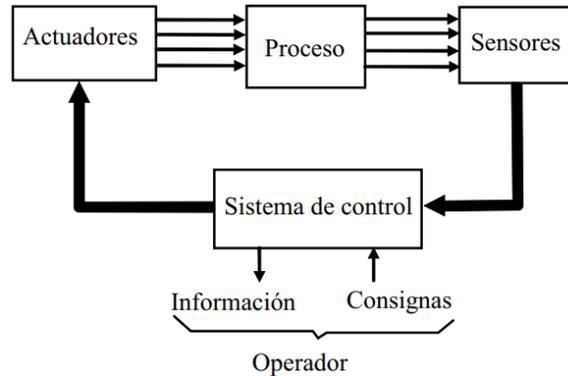
Sistema de lazo cerrado discreto. A diferencia de los sistemas de lazo abierto, en los sistemas de lazo cerrado se observa la variable que se va a controlar. Estos sistemas pueden ser muy precisos en el valor de la variable es factible determinar un rango de error; la precisión del sistema depende de varios factores como son: el dispositivo que va a retroalimentar la variable, tipo de control ya sea PID o control ON/OFF, tipo de respuesta del dispositivo de salida y algoritmo de control que se desarrolle (Soria Tello, 2015).

Elementos de un Sistema de Automatización

Un sistema automatizado está compuesto de varios subsistemas o componentes que se muestran en la figura 13, así tenemos:

Figura 13

Estructura de un sistema automatizado.



Nota. Tomado de (Soria Tello, 2015)

El Sistema de Control Automático. Es una plataforma que integra hardware (controladores, computadoras, paneles HMI, etc.) y software especializado, el cual brinda la inteligencia para monitorear, supervisar, controlar, analizar y mostrar información, siendo los más conocidos: Programmable Logic Controller (PLC) o Controlador Lógico Programable; Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) o Sistema de Control Distribuido; Control Numérico Computarizado (CNC); entre otras (IPtech Engineering, 2022).

La Instrumentación Industrial. Conformada por el equipamiento y dispositivos de campo que van a permitir medir las señales de las variables del proceso (Ejemplo: sensores de nivel, flujo, presión, temperatura, humedad, velocidad, inclinación, posición, energía, luz, distancia, gases, etc.), el equipamiento que interpreta la señal física y la convierte en datos (Ejemplo: transductor, adquisidor de datos, IoT, analizador online, datalogger, etc.), y los dispositivos actuadores que hacen que el proceso realice la operación deseada (Ejemplo:

motores, cilindros neumáticos, accionamientos, motorreductores, electroválvulas, bombas, relés, etc.) (IPtech Engineering, 2022).

El Sistema Eléctrico y Neumático. Compuesto por el conjunto de tableros y dispositivos eléctricos pertenecientes a la red de electricidad de baja y media tensión que permiten energizar a los equipos electrónicos y electromecánicos, así como el equipamiento que suministra aire a los equipos electro neumáticos (IPtech Engineering, 2022).

El Sistema Informático. Conformado por el conjunto de aplicaciones de software que permiten gestionar y procesar la información del proceso (Ejemplo: sistema operativo, base de datos, lenguajes de programación, aplicativos de diseño, software de ingeniería, Enterprise Resource Planning o ERP, Manufacturing Execution System o MES, etc.) sea que estas aplicaciones se ejecuten desde computadoras locales o en plataformas iCloud (IPtech Engineering, 2022).

El Sistema de Comunicaciones. Conformado por la infraestructura que hace posible la conectividad de las señales (Ejemplo: radiocomunicaciones, enlaces de fibra óptica, cableado estructurado, enlaces satelitales, etc.) que permite conformar redes de datos para la transmisión e intercambio de información siguiendo con los protocolos estandarizados (Ejemplo: Modbus RTU, Modbus TCP, Profibus, Fieldbus, LoRaWan, CANopen, IO-Link, Profinet, TCP/IP, Ethernet/IP, Hart, LTE, ZigBee, Bluetooth, WiFi, OPC UA, etc.) (IPtech Engineering, 2022).

El Proceso por Automatizar o Controlar. Se constituye como el elemento central en un sistema de automatización, ya que todo el diseño de ingeniería gira entorno a dicho proceso. Se puede afirmar que el dimensionamiento del sistema, diseño de arquitectura, selección de elementos y configuración de los dispositivos, queda determinado por el proceso a automatizar. La automatización puede abarcar procesos productivos, procesos industriales, procesos operacionales, procesos empresariales, procesos de medición, procesos de análisis, procesos de fabricación, procesos de elaboración, entre otros, así como también procesos que

involucran el funcionamiento de maquinarias, vehículos, artefactos, u otros dispositivos (IPtech Engineering, 2022).

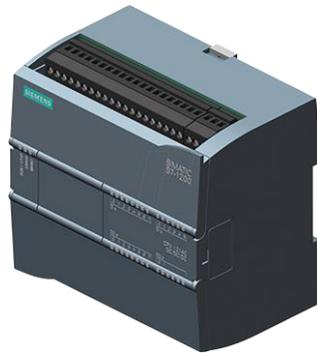
Controlador lógico programable (PLC)

Definición

Un *autómata programable industrial* (API) o también llamado *Programmable Logic Controller* (PLC), es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial procesos secuenciales. (Sanchis Llopis, Romero Pérez, & Ariño Latorre, 2019)

Figura 14

Controlador Lógico Programable (PLC)



Nota. Tomado de SIEMENS

Un sistema de control industrial automático trabaja con una secuencia de instrucciones lógicas generadas mediante un programador manual o una computadora, secuencia que se almacena en la memoria del PLC para trabajar en forma independiente.

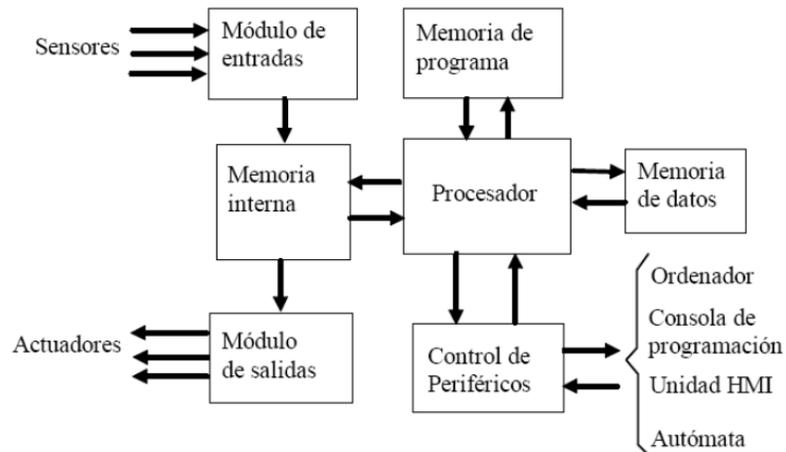
El autómata programable satisface las exigencias tanto de procesos continuos como discontinuos. Los completamente discretos pueden controlar solo variables discretas, mientras que los discretos-analógicos, aparte de regular variables discretas, pueden regular variables analógicas como presión, temperatura, nivel, caudal, etc., y contiene algoritmos PID (Soria Tello, 2015).

Arquitectura del API

La figura 15 muestra de forma esquemática la arquitectura interna de un autómata programable industrial típico.

Figura 15

Arquitectura de un Autómata Programable Industrial.



Nota. Tomada de (Soria Tello, 2015)

Tiene un procesador que es el que ejecuta el programa almacenado en la memoria de programa. La memoria de programa y la de datos están físicamente separadas, constituyendo una arquitectura tipo Harvard. Además, la memoria de datos está separada en dos tipos, que en la figura 15 se denominan memoria de datos y memoria interna. Esta última se utiliza para almacenar los valores de las señales de entrada y salida, por lo que están conectadas con los módulos de entradas y salidas, que son los elementos de interfaz donde se conectan los sensores y actuadores del proceso. También dispone de periféricos para comunicar con otros dispositivos, como pantallas táctiles, ordenadores u otros autómatas (Sanchis Llopis, Romero Pérez, & Ariño Latorre, 2019).

Constitución física

La mayoría de los autómatas programables del mercado son modulares, es decir, están formados por módulos que pueden conectarse entre sí, permitiendo una gran flexibilidad en la configuración. Las figuras 16 y 17 muestran dos autómatas modulares comerciales (Sanchis Llopis, Romero Pérez, & Ariño Latorre, 2019).

Figura 16

Autómata programable modular Modicon M241



Nota. Tomado de Schneider Electric

Figura 17

PLC modular Siemens SIMATIC S7-1200



Nota. Tomado de SIEMENS

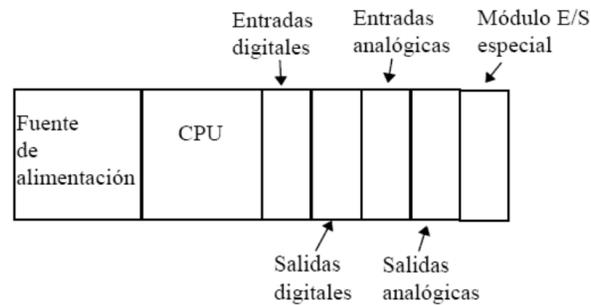
El módulo principal es el de CPU, que contiene el procesador, la memoria y algunos controladores de periféricos. En algunos modelos, el módulo de CPU contiene además algunas entradas y/o salidas digitales (Sanchis Llopis, Romero Pérez, & Ariño Latorre, 2019).

El módulo de fuente de alimentación da la tensión para alimentar a todos los módulos del equipo. Junto con el módulo de CPU forman la estructura mínima necesaria. A veces hay

módulos que requieren una fuente de alimentación especial, de más de la general del equipo (Sanchis Llopis, Romero Pérez, & Ariño Latorre, 2019).

Figura 18

Elementos constitutivos de un autómata modular



Nota. Tomado de (Soria Tello, 2015)

Los módulos adicionales se conectan al módulo de CPU por medio del bus. Respecto de los módulos entre los que se puede elegir para definir la configuración necesaria para controlar un proceso, se pueden distinguir:

- Módulo de entradas digitales.
- Módulo de salidas digitales.
- Módulos de entradas analógicas.
- Módulos de salidas analógicas.
- Módulos de comunicación (Devicenet, Profibus, Ethernet, etc.).
- Módulos de control PID.
- Módulos de control de posición de ejes.

Sensores

Definición Sensores

El sensor es el dispositivo que adapta las variables físicas del proceso en señales eléctricas para que los sistemas de control puedan interpretarlas, en algunos casos es posible que estos dispositivos sean conectados en forma directa sin requerir de ningún dispositivo adicional a las entradas del PLC, un sensor es considerado en las estructuras de un sistema automático como el observador del proceso (Soria Tello, 2015).

Los sensores se dividen en 2 principales grupos: sensores analógicos y sensores de proximidad del tipo discreto. Cada uno tiene su campo de aplicación en los sistemas automáticos. La aplicación de los sensores discretos es más sencilla comparada con los sensores del tipo analógico ya que estos requieren un algoritmo de control más complicado (Soria Tello, 2015).

A continuación, se presenta la agrupación de los sensores de acuerdo al modo de operación.

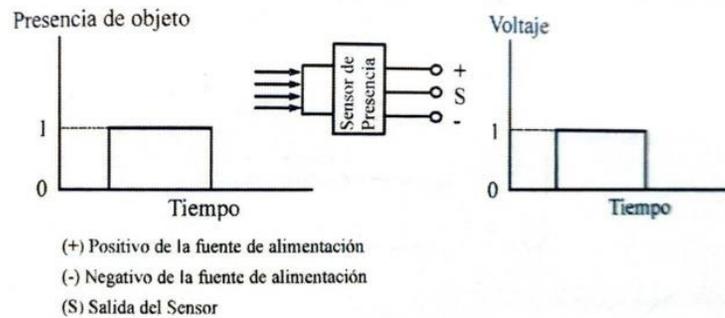
Sensores de comportamiento discreto

Estos sensores forman parte de la secuencia de un sistema automático. Su funcionamiento y manejo es sencillo si se comparan con los sensores analógicos.

Incluso el programa de la secuencia suele ser más sencillo al aplicar a sensores del tipo discreto. Son sensores de todo o nada, por lo que las respuestas obtenidas son presencia o ausencia de objeto o de la variable a ser detectada, lo que da como respuesta un nivel lógico de "1" a la presencia y de "0" a la ausencia, como se muestra en la figura 19 (Soria Tello, 2015).

Figura 19

Respuesta de un sensor del tipo discreto



Nota. Tomado de (Soria Tello, 2015)

Sensores de objeto por contacto

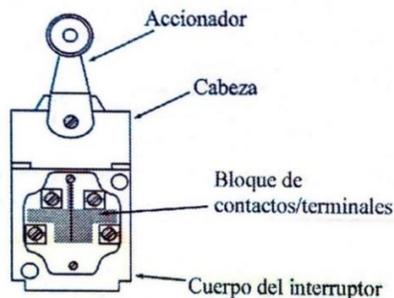
Los interruptores de contacto son dispositivos electromecánicos o bimetálicos que detectan cambios a través del contacto físico directo con el objetivo o variable a ser detectada.

Estos dispositivos son activados por esfuerzos mecánicos, debido a esto son robustos en su estructura mecánica, y presentan las siguientes ventajas: soportan altas corrientes, aceptan diferentes niveles de voltaje, aceptan voltajes de corriente alterna y de corriente directa, toleran variaciones en la línea de voltaje, su instalación no requiere conectores especiales y el diagnóstico de fallo es sencillo. (Soria Tello, 2015)

En la figura 20 es muestra la estructura de un interruptor, que es la siguiente:

Figura 20

Estructura de un interruptor de contacto



Nota. Tomado de (Soria Tello, 2015)

Accionador: es la parte del interruptor que va a estar en contacto con el objeto a ser detectado.

Cabeza: se encarga de aceptar el esfuerzo mecánico para mover un disyuntor interno.

Bloque de contactos: aloja físicamente al juego de contactos que normalmente son dos, un contacto normalmente abierto (N.A.) y uno normalmente cerrado (N.C.). En este bloque es donde se conecta eléctricamente el interruptor.

Cuerpo del interruptor: es el que le da robustez al dispositivo y es de donde se fija mecánicamente.

Sensores de proximidad del tipo discretos

Los sensores de proximidad se caracterizan por no tener contacto con el objeto a ser detectado, operan generando un campo de energía o haz luminoso que depende de la característica de operación del sensor. El estado de su salida cambia ante variaciones o cambios en el campo o en el haz luminoso provocados por la interferencia de objetos, lo que da como resultado la detección a distancia de objetos. (Soria Tello, 2015)

Sensores de detección magnética

Los sensores de campo magnético son sensores de proximidad que responden a la presencia de un campo magnético permanente. La distancia de operación es proporcional a la intensidad del campo magnético.

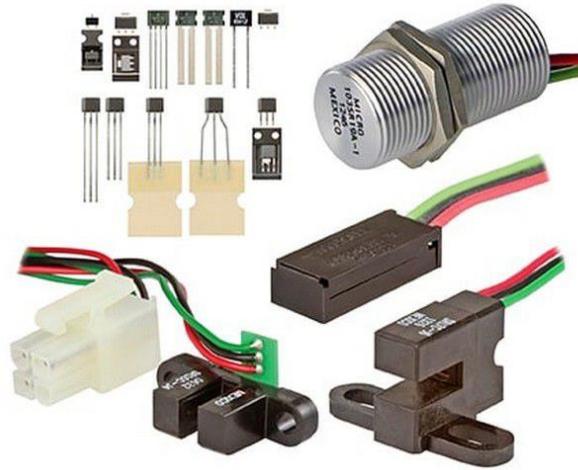
Este tipo de sensores tienen dos tipos de construcción:

- De estado sólido.
- *Del tipo reed switch.*

El sensor del tipo estado sólido. Es fabricado con material semiconductor, estos generan una señal eléctrica cuando son sometidos a la influencia de campos magnéticos.

Figura 21

Sensores magnéticos del tipo estado sólido

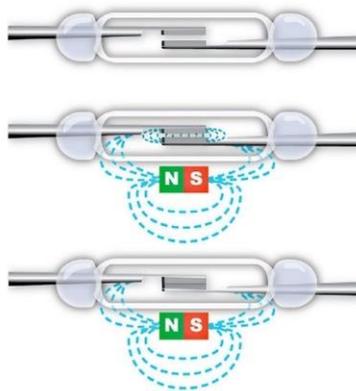


Nota. Tomado de Honeywell International Inc.

El sensor de tipo reed switch. Consiste en un par de contactos ferrosos encerrados al vacío dentro de una capsula sellada de vidrio. Al acercarse a un campo magnético, los contactos del sensor se unen y cierran un circuito eléctrico. La rigidez de los contactos hará que se separen al desaparecer el campo magnético (Soria Tello, 2015). Este sensor de tipo pasivo es el más utilizado en sistemas electro neumáticos.

Figura 22

El sensor de tipo reed switch



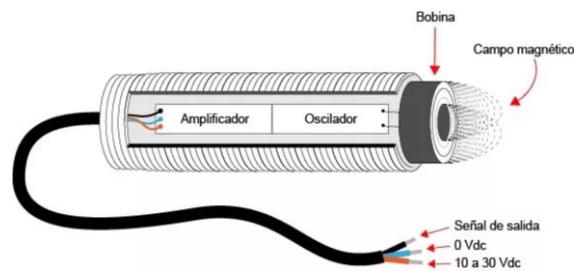
Nota. Tomado de Shoptronica S.L.

Sensores Inductivos

Los sensores de proximidad inductivos son dispositivos de estado sólido diseñados para detectar objetos metálicos a distancia, reaccionan cuando se acerca este objeto sin establecer contacto directo con él. Una ventaja importante es inherente a ambientes muy sucios, donde su funcionamiento no se ve afectado por la acumulación de contaminantes tales como polvo, grasa, aceite y hollín en la cara censora (Soria Tello, 2015).

Figura 23

Sensor magnético inductivo



Nota. Tomado de Contaval.

Solenoides

En cualquier proceso industrial actual en donde se manejen fluidos, sean éstos líquidos, vapores o gases, una válvula a solenoide está presente como dispositivo de automatización o de seguridad.

La válvula a solenoide es la combinación de dos unidades funcionales: El paquete electromagnético, compuesto por un solenoide y su correspondiente tragante o núcleo móvil, y un cuerpo de válvula conteniendo los orificios de entradas, pasajes y salidas. (Jefferson Sudamericana S.A., 2019)

Figura 24

Válvula Solenoide



Nota. Tomado de DanFoss.

Relé en estado solido

Un relé de estado sólido (SSR) es un interruptor electrónico que enciende o apaga cargas cuando se aplica una señal o voltaje externo a sus terminales de control, con una salida de estado sólido como un SCR, TRIAC, MOSFET o transistor.

Utilizan opto acopladores para proporcionar aislamiento entre la entrada y la salida, por lo que no hay una bobina que pueda crear picos de voltaje al apagar, le permite cambiar mucho más rápido que los relés electromecánicos evitando la creación de arcos eléctricos, y volviéndolos más amigables con las salidas de baja señal que normalmente se encuentran en los controladores de temperatura. Las entradas disponibles son tanto digitales (voltajes CA y CD) como analógicas (4-20mA y 0-10V). (Electronica Universal de Monterrey, 2020)

Figura 25

Relé en estado sólido 1 canal



Nota. Tomado de AV Electronics.

Capítulo III

Diseño del sistema mecánico

Introducción

En este capítulo se presenta el criterio de diseño más fiable para cumplir con los requerimientos funcionales, de seguridad y de operación del proceso por parte de la empresa. En este caso se partió teniendo varias opciones que fueron modificadas y mejoradas durante esta etapa de diseño, hasta concluir con un sistema aceptado por parte de la empresa y el diseñador.

Mediciones del espacio de trabajo

El proceso de pintado de ejes cardanes de la empresa cuenta con una cabina de pintado, en el cual se tiene una estructura metálica ,mostrado en la figura 26, que permite alojar al eje cardán en un torno que lo hace girar longitudinalmente para facilitar el pintado alrededor de este. Además, cuenta con un extractor de partículas posicionado encima de la estructura como se muestra en la figura 27.

Figura 26

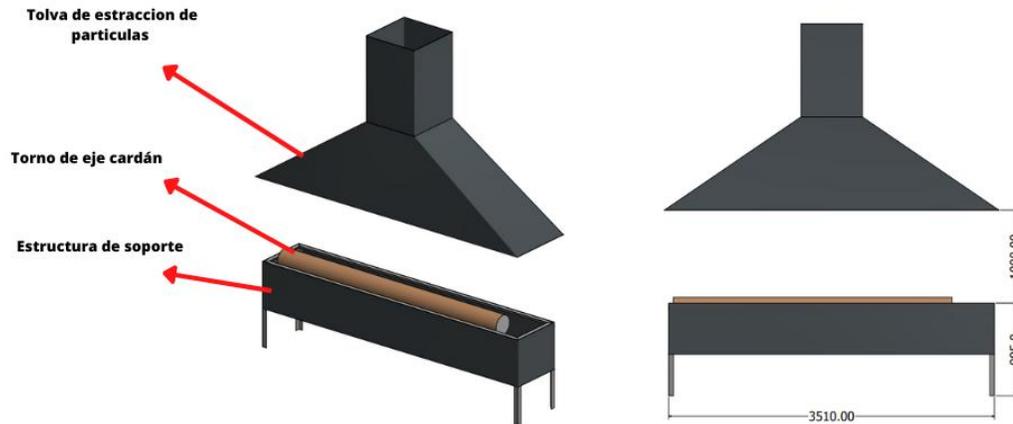
Estructura metálica de la cabina de pintura con proceso manual



Nota. Fotografía del espacio de trabajo de DANA Transejes.

Figura 27

Esquema del sistema de pintado de cardanes DANA Tranejes Ecuador.



En este sistema se pintan manualmente varios modelos de eje cardán con diferentes dimensiones dispuestas en el catálogo de la empresa. Este valor se tomara en cuenta para el las dimensiones del eje guía del sistema de transmisión mecánica.

Parámetros de diseño mecánico

Tomando en cuenta los requerimientos entregados por parte de la empresa, así como las dimensiones de diseño para la correcta funcionabilidad del sistema, se describen a continuación los parámetros más influyentes en el diseño mecánico del sistema:

- *Dimensiones del eje cardan de mayor longitud = 2505.5mm.*
- *Dimensiones del eje cardan de menor longitud = 505.5mm.*
- *La masa de la pistola de pintar DeVilbiss JGA-510 = 0.55kg.*
- *La masa de las mangueras es aproximadamente = 0.8kg.*
- *La masa de 3.5 metros de cadena es = 2.17kg.*

Con los parámetros presentados y los del capítulo de análisis de datos se procede diseñar y seleccionar los componentes del sistema.

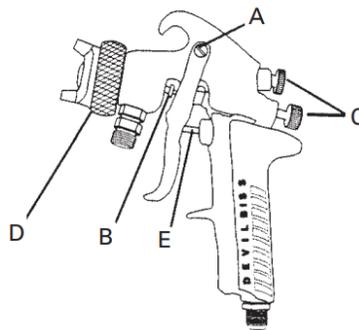
Sistema de aplicación de pintura

Equipo de aplicación de pintura

Cabe destacar que el proceso ya cuenta con la implementación de un compresor de aire, una bomba hidráulica para pintura y todos los implementos necesarios para la aplicación de pintura de forma manual con una pistola rociadora DeVilbiss JGA-510 (Figura 28), que serán utilizados en el proceso.

Figura 28

Diagrama de pistola de pintura con DeVilbiss JGA-510 sus partes.



Nota. Tomado de DeVilbiss.

Tabla 1

Especificaciones de las partes de la pistola de pintura.

Índice	Descripción
A	Puntos de activación
B	Empaque
C	Válvulas de ajuste
D	Hilos de la pantalla del pulverizador
E	Cartucho de válvula de aire

Nota. Tomado de DeVilbiss.

Tipo de esmalte utilizado

Los ejes cardanes son rociados con un material denominado TAN ANTIOX, que consiste en un recubrimiento anticorrosivo que cura y protege al metal de oxidaciones. La

viscosidad a 25°C del material es de 90-95 KU. Las especificaciones para la aplicación del material por parte del fabricante son:

Equipos de aplicación:

- Brocha.
- Rodillo.
- Pistola convencional.
- Proporción de dilución:
- Para aplicación con pistola se recomienda viscosidades de 18 a 22 segundos copa Zahn #2.
- Para aplicación con brocha o rodillo se recomienda adicionar aproximadamente el 10 % de thinner.

En la aplicación del convertidor de óxido se debe utilizar un ancho de patrón de rociado de 2.5 a 12.7 cm, dato especificado por la parte del fabricante utilizando una boquilla con un orificio mayor a 2.2mm.

Selección del sistema de transmisión mecánica

Se propuso diferentes tipos de sistemas de transmisión entre estos tenemos:

- Tornillo de potencia.
- Sistema de cables poleas.
- Sistema piñón cremallera.
- Sistema de transmisión por cadena.

De acuerdo a los requerimientos de la empresa auspiciante, se elige un sistema de transmisión por cadena, siendo este el de mayor disponibilidad por parte de la empresa y el más adaptable a sus procesos de mantenimiento.

Diseño de sistema de movimiento lineal.

Este sistema es el encargado de mover la pistola de pintura a lo largo de la longitud del eje cardán. Generó la mayor controversia en la etapa de diseño, debido principalmente a la gran longitud por la que deberá recorrer la pistola llevando consigo mangueras, elementos de soporte y activación.

Se tuvo varias propuestas de diseño y se analizaron varias opciones de sistemas de transmisión, obteniendo como resultado un sistema no convencional de transmisión por cadena-catarina.

Esquema del diseño preliminar del sistema de movimiento lineal

Los elementos utilizados en este sistema son: un motor, una catarina, una tira de cadena de rodillos y dos poleas que ayudan a templar la cadena. Todos estos elementos están sujetos a un carrito móvil, el cual usa 4 ruedas ranuradas en “V” para guiarse por dos ángulos de acero estructural. Estos ángulos están unidos mediante un perfil U entre ellos, y forman parte de la estructura base del sistema. En la figura 29 y 30 se muestra el esquema de los dispositivos mencionados anteriormente.

Figura 29

Vista frontal del Sistema de transmisión lineal mecánica.

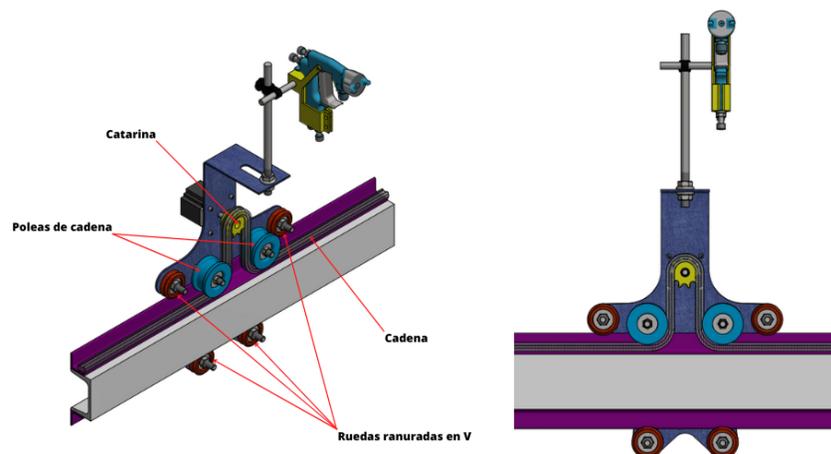
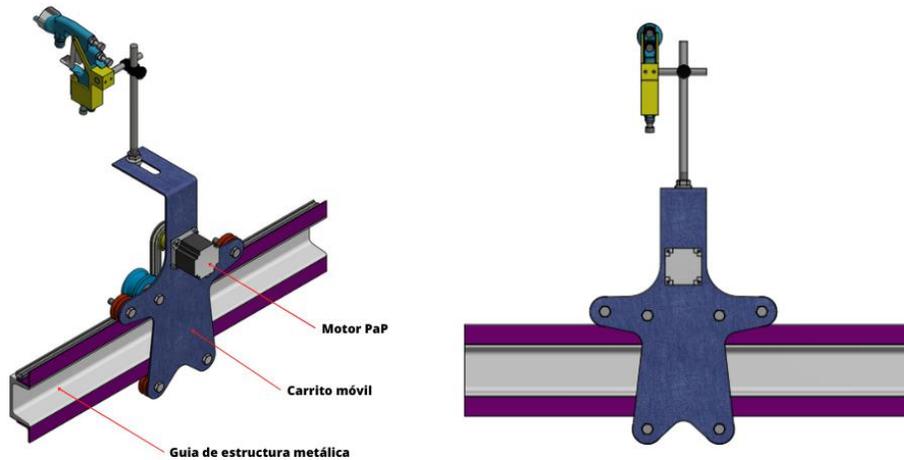


Figura 30

Vista trasera del Sistema de transmisión lineal mecánica.

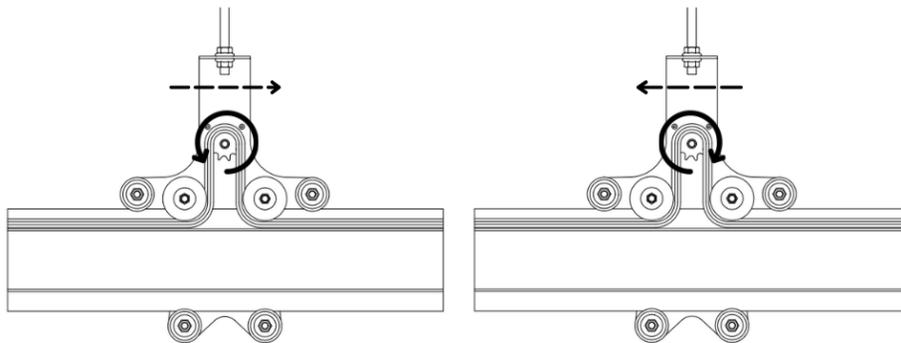


Funcionamiento del sistema de transmisión mecánica

El sistema funciona cuando el motor hace girar la catarina y se impulsa con la cadena fijada a los extremos de la estructura base para mover el carrito, transformando el movimiento rotacional del motor en movimiento lineal como se muestra en la figura 31.

Figura 31

Movimiento del sistema de transmisión lineal mecánica



Determinación de cargas. Teniendo en cuenta el coeficiente de fricción normalizado de los rodamientos de bolas $\mu_R = 0.0015$ y el peso total de los componentes del sistema de sujeción y movimiento $W_T \approx 45N$, es el diagrama de fuerzas de la figura 32 se tiene:

$$F_T = 4 \cdot F_f$$

$$F_T = 4 \cdot (\mu_R \cdot N)$$

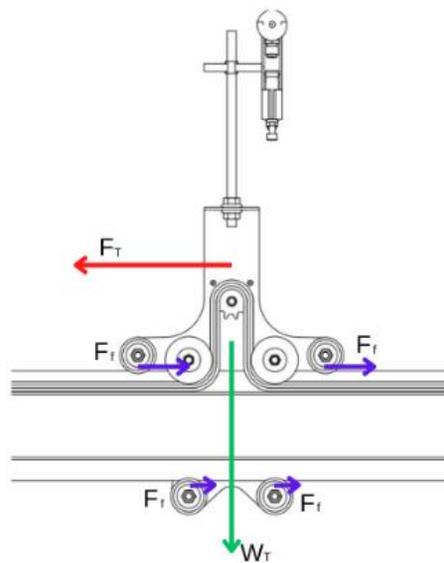
$$F_T = 4 \cdot (\mu_R \cdot W_T)$$

$$F_T = 4 \cdot (0.0015 \cdot 45N)$$

$$F_T = 0.27N$$

Figura 32

Diagrama de cargas del sistema de movimiento lineal.

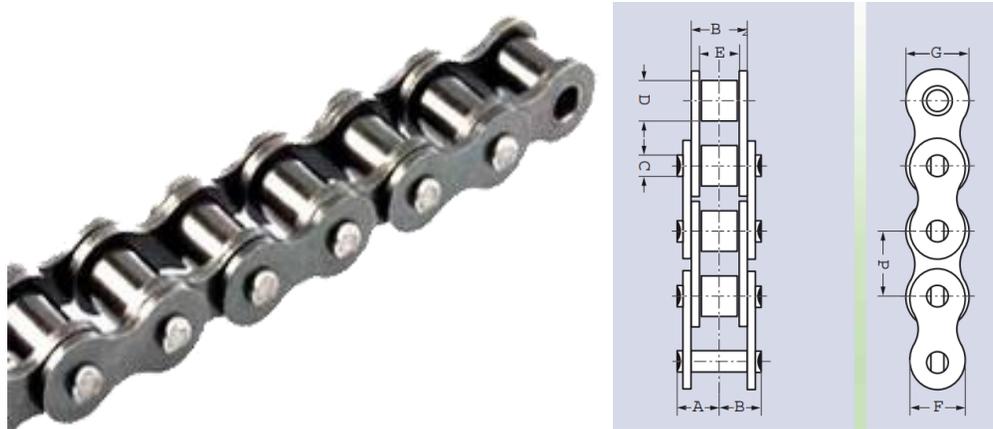


Selección de cadena

Debido a la facilidad de adquisición, se escoge una cadena de rodillos simple N° ANSI 40; 40-1(Figura 33). Siendo esta una de las más utilizadas en medios de transporte como bicicleta y motocicleta. Además, posee una carga a la rotura mínima mayor a 14KN, con lo que cumple de sobra los requerimientos del sistema. Las dimensiones del número ANSI de la cadena se las presenta en la tabla 2.

Figura 33

Cadena de rodillo simples N° ANSI 40.



Nota. Tomado de Link-Belt.

Tabla 2

Especificaciones de cadena.

No. cadena	Paso	Dimensiones en mm							Carga de rotura min.	Peso
		ANSI	P	B	B1	B2	C	D		
40-1	12.7	8.22	10.32	11.17	3.98	7.92	7.92	10.41	14100	0.620

Nota. Tomado de Link-Belt cadena de rodillos simple No. ANSI 40; 40-1 marca Link-Belt.

Selección de catarina (sprocket)

La selección del diámetro de la catarina se escoge teniendo en cuenta la velocidad a la que se moverá la pistola de pintura linealmente es decir la velocidad mínima y la velocidad del motor.

La velocidad recomendada de avance para pintar es de 0.1m/s. y los diámetros de catarinas existentes para la cadena ANSI 40.

La recomendación de diseño para sistemas de velocidad moderada y alta es de catarinas de 17 dientes, teniendo una relación directa con la esperanza de vida y ruido de la cadena. Para sistemas de baja velocidad y bajo torque como el presente proyecto se puede

utilizar un número inferior de dientes sin sacrificar la esperanza de vida de la cadena, con esto se selecciona una catarina ANSI N°40 de 1/2" - 13 Dientes figura 34.

Figura 34

Sprockets de Acero - Paso 1/2 " ANSI N°40 - 13 Dientes



Nota. Tomado de Catalogo de Martin, (N° DE PARTE 40B13 PAG. 333 CATALOGO MARTIN).

El paso diametral de la Catarina seleccionada se calcula con la siguiente ecuación

donde:

$D =$ paso diametral.

$p =$ paso de la cadena.

$N =$ Numero de dientes de la cadena.

$$D = \frac{p}{\sin(180^\circ/N)}$$

$$D = \frac{0.5in}{\sin(180^\circ/13)}$$

$$D = 2.089in = 53.06mm$$

La carga que se requiere para mover el carrito es mínima y por lo que la catarina está sobredimensionado, esto ayuda a la expectativa de vida presentada por el fabricante que es de 15000 horas de trabajo.

Diseño de carrito móvil

El denominado carrito móvil sirve como base para el sistema de movimiento lineal. Para este diseño se consideró utilizar una plancha de acero galvanizado por disponibilidad del mercado.

Figura 35

Diseño 3D del carrito móvil.

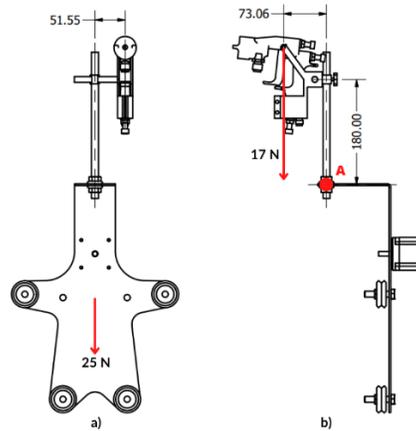


Determinación de cargas

Para el análisis de cargas se analizan todos los elementos que soporta el carrito móvil como son: el motor (1kg), 2 poleas (0.312kg) y su propio peso (1.37kg), que nos da un fuerza aproximada de 25N que se refleja en el esquema a) de la figura 36. En la misma figura, en el literal b), se analizan la cargas que se aplican sobre el punto A que son: la pistola de pintura (0.55kg), el soporte de la pistola de pintura (0.31kg) y las mangueras (0.8kg), que están sujetos al carrito por dos tubos de acero galvanizado con abrazaderas plásticas (0.1kg), que nos da un total aproximado de 17N.

Figura 36

Diagrama de cargas sobre el carrito móvil.



Para poder reflejar las cargas en el punto A se realiza la operación producto cruz entre la el vector radio desde el punto A al punto de carga y el vector de fuerza, como se muestra a continuación:

$$\vec{M}_A = \vec{r} \times \vec{f}$$

$$\vec{M}_A = (0.073\vec{i} + 0.180\vec{j} - 0.0515\vec{k}) \times (-17\vec{j})$$

Teniendo como resultado:

- $\vec{M}_A = (0.876\vec{i} - 1.241\vec{k})$
- $\vec{F}_A = (-17\vec{j})$

Con este resultado podemos realizar el análisis de tensión en el programa Inventor de Autodesk para facilitar cálculos.

Informe del análisis estático

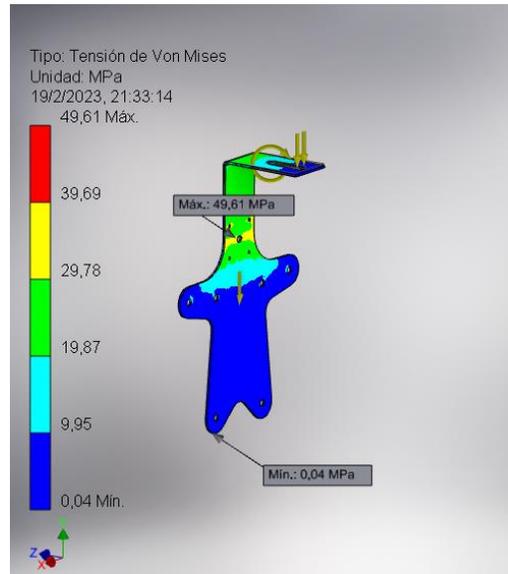
Para el análisis de tensión se realizó una simulación en el programa Inventor de Autodesk utilizando la herramienta de Análisis de Tensión, con los datos ya calculados anteriormente.

En la figura 37 tenemos el análisis de tensión de Von Mises teniendo como resultado una tensión máxima de 49.61MPa, este resultado entra en los límites permitidos por el material

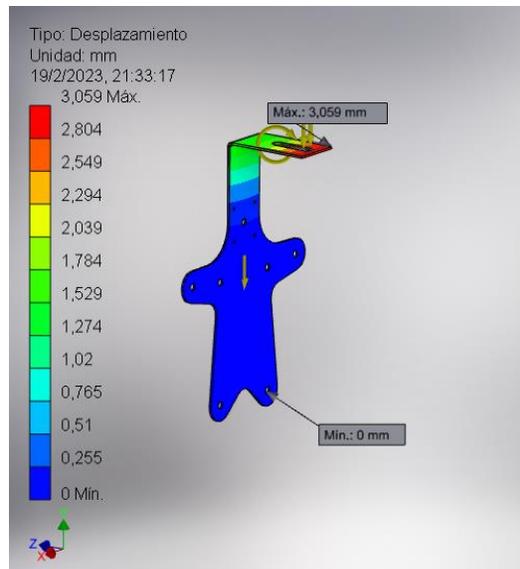
el cual soporta una tensión máxima entre 420 y 680 (MPa), dependiendo del tratamiento que se le aplique.

Figura 37

Análisis de tensión de Von Mises carrito móvil



De igual forma tenemos en la figura 38, el análisis de desplazamiento que tiene como resultado un valor máximo de 3.059 mm, el cual es mínimo y no influye en el funcionamiento del sistema, pero de todas formas hay que tomar atención y tratar de mitigar este efecto ubicando a la pistola de pintura no tan alejada del punto de sujeción del carrito móvil.

Figura 38*Análisis de desplazamiento carrito móvil***Selección de las ruedas ranuradas en V**

Las ruedas en V servirán para el desplazamiento por toda la guía de la base estructural, tiene implantado un rodamiento y su diámetro de valle puede ser de 30 a 50 mm.

Figura 39*Rueda ranurada en V*

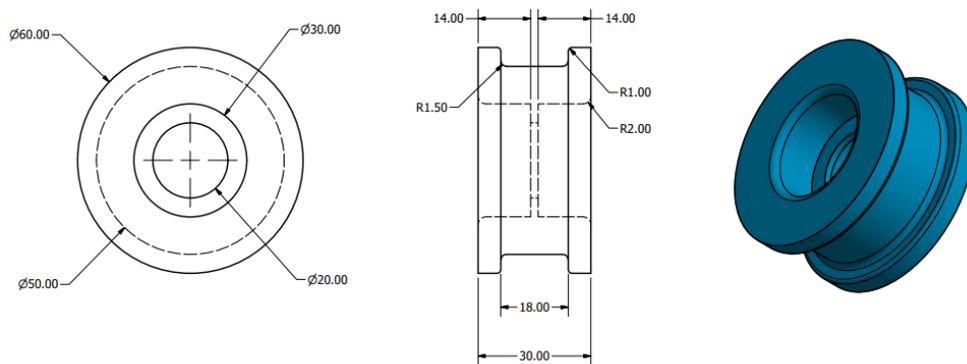
Nota. Tomado de Moreno Sebastián 2019.

Diseño de las poleas de cadena

Las poleas de cadena ayudan a templar la cadena para que la catarina pueda tener agarre, además de que tiene una ranura no permite el descarrile la cadena. Puede ser de materiales suaves como aluminio o de polímeros, para que no desgaste la cadena por fricción. El diseño propuesto se especifica a continuación:

Figura 40

Polea de cadena.



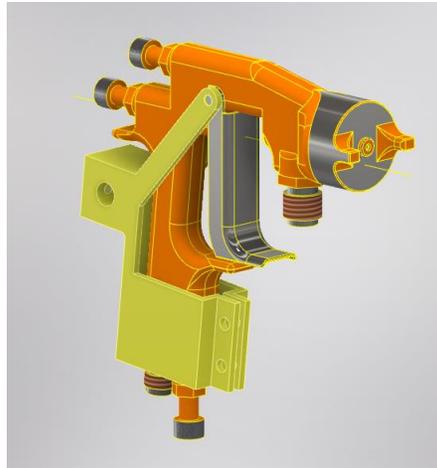
Diseño del soporte de pistola de pintura

Este dispositivo es el encargado de sujetar a la pistola de pintura al sistema de movimiento lineal para que se traslade a lo largo de todo el eje cardan, para el diseño se consideró un material de acero por la facilidad de mecanizado y gran resistencia.

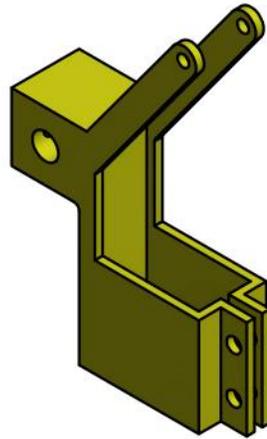
En este caso se consideró solo la carga de la pistola de pintura que es de 0.55kg datos obtenidos de parte del fabricante, teniendo un peso de 5.39N.

Figura 41

Sistema de soporte de pistola.

**Figura 42**

Diseño de soporte de pistola.

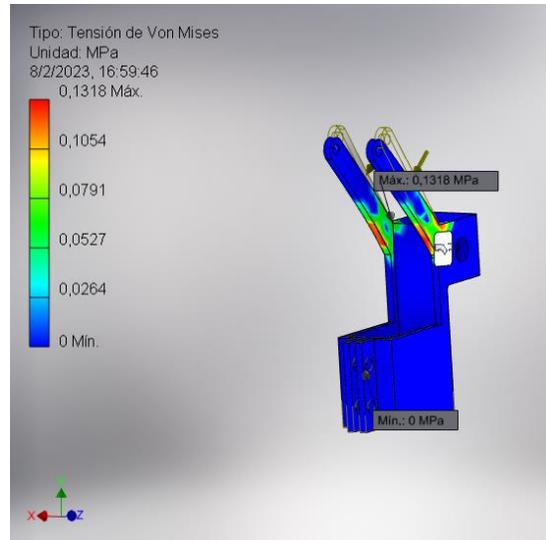


Informe del análisis estático

El resultado del análisis fue de una presión máxima de 0.1318MPa indicado en la figura 43, el cual cumple con el límite del material que es 400-550.

Figura 43

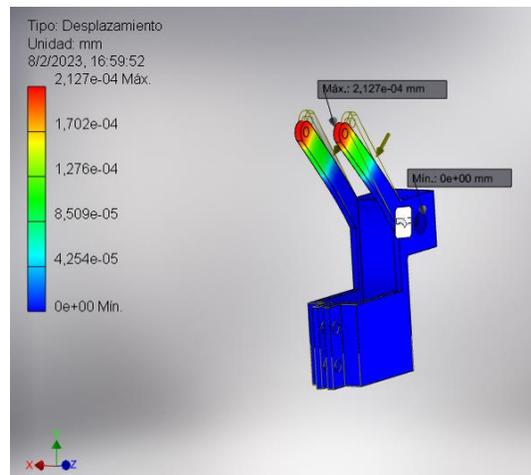
Análisis de tensión de Von Mises soporte de pistola



De igual forma el análisis de desplazamiento indica un máximo de $2.127e^{-04}$ mm, lo cual es un valor mínimo y no influye en el funcionamiento del sistema.

Figura 44

Análisis de desplazamiento soporte de pistola.



Diseño de la estructura metálica base

Diseño de la estructura base

Para el diseño de la estructura base de la máquina (figura 45) se consideró utilizar varios perfiles metálicos presentados en la tabla 3, tomando en cuenta la comodidad del operario, ya que no debe ser muy ancha para no incomodar cuando se coloque el eje cardán en el torno.

Figura 45

Diseño de estructura metálica del sistema.

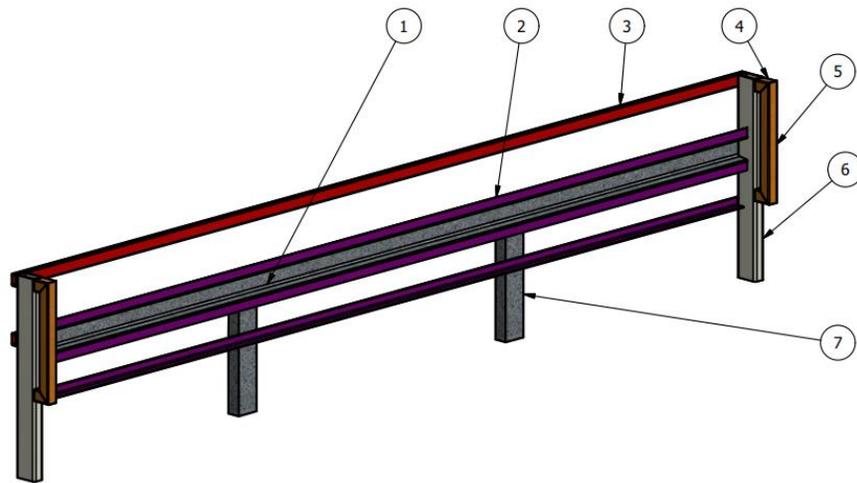


Tabla 3

Lista de cortes de acero estructural para la estructura metálica.

N°	Largo de corte mm	Cantidad de cortes	Descripción	Peso kg/6m	Peso total (kg)
1	3200	1	Perfiles de acero u (canal) - ASTM A36 -80 x 40 x 2-	14,46	7,71
2	3200	3	Ángulos de lados iguales de acero negros ASTM A36 -30x30x2-	8,24	13,18
3	3280	2	Tubería estructural de acero (rectangular) ASTM A36) - 40x20x2	10,08	11,02
4	60	4	Tubería estructural de acero (cuadrada) ASTM A36 - 40x40x1,2	8,82	0,35
5	400	2	Tubería estructural de acero (cuadrada) ASTM A36 - 40x40x1,2	8,82	1,17
6	665	2	Tubería estructural de acero (rectangular) ASTM A36 - 80x40x4	10,08	2,23
7	472,5	2	Perfiles de acero u (canal) - ASTM A36 - 80 x 40 x 2	14,46	2,27
Total		16			37,96

Nota. El valores de peso tomado de Dismetal EC.

Determinación de cargas

Esta estructura sirve como base para el sistema, teniendo que soportar el peso total del sistema de movimiento lineal 41N.

Otro factor a considerar es la presión que ejerce la cadena sobre el perfil en U, para esto se consideró los parámetros de la cadena, como son el ancho y peso por metro, mencionados en la tabla 2 del capítulo anterior, teniendo en cuenta que se utilizará 3.5m de cadena se tiene que la presión ejercida por un cuerpo solido es:

$$P[Pa] = \frac{F[N]}{S[m^2]}$$

Determinación del peso de la cadena:

$$M_{cadena} = 3.5m \times 0.62kg/m$$

$$M_{cadena} = 2.17kg$$

$$F_{cadena} = M_{cadena} \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{cadena} = 21.28 \text{ N}$$

Determinación del área de aplicación de la presión ejercida sobre el perfil en U:

$$S = \text{Ancho} \times \text{Longitud sobre perfil}$$

$$S = 0.00822 \text{ m} \times 3 \text{ m}$$

$$S = 0.25 \text{ m}^2$$

Determinación de la presión ejercida sobre el perfil en U:

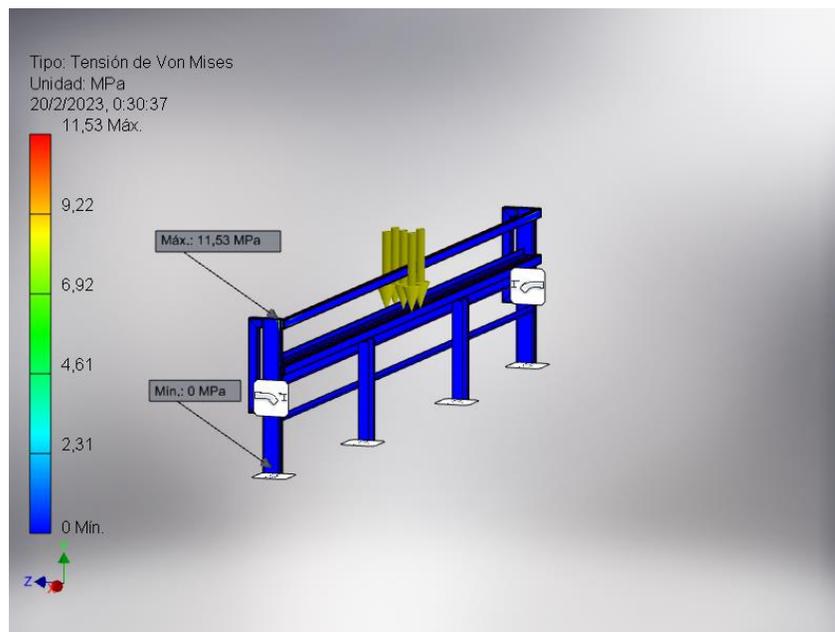
$$P = \frac{21.28 \text{ N}}{0.25 \text{ m}^2} = 85.15 \text{ Pa}$$

Informe del análisis estático

Con los datos calculados se puede aplicar el programa de análisis de tensión en la estructura base como se muestra en la figura 46. El cual nos da un resultado de tensión máxima de 11.53MPa que se muestra inferior al permitido por el material que tiene un límite de fluencia mínimo de 290MPa.

Figura 46

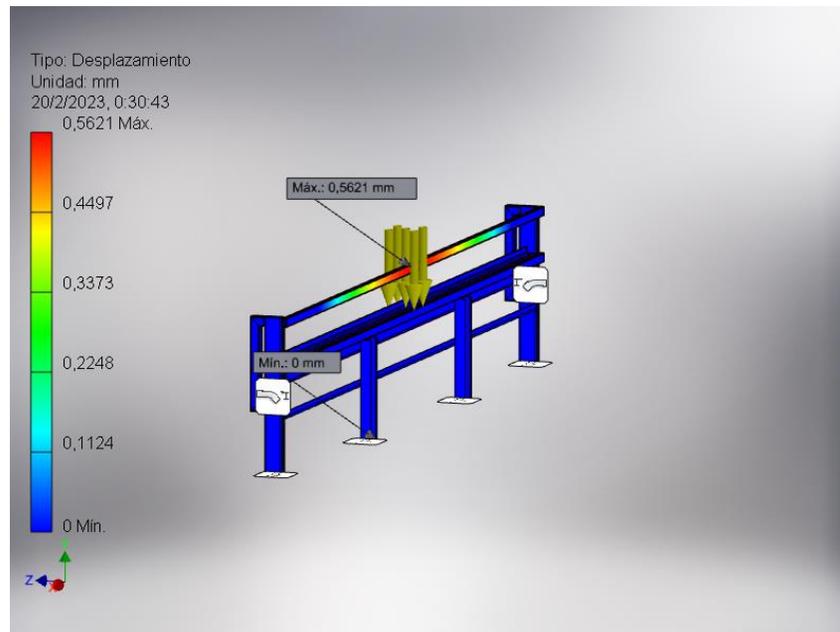
Análisis de tensión de Von Mises de estructura metálica del sistema



De igual forma el análisis de desplazamiento generó un resultado de máximo desplazamiento igual a 0.5621mm que es mínimo y no afecta en el funcionamiento del sistema.

Figura 47

Análisis de desplazamiento de estructura metálica del sistema



Capítulo IV

Diseño del sistema eléctrico y de control

Análisis funcional

El objetivo de este proyecto es el diseño de una máquina automatizada que permita al operador controlar (mediante una botonera) una válvula pulverizadora que se mueve a lo largo de la guía para la aplicación de convertidor de óxido sobre toda la superficie exterior del eje cardán, con el fin de optimizar tiempos y recursos de producción. En la figura 48 se presenta la arquitectura con todos los elementos que se utilizarán en este nuevo sistema.

Figura 48

Arquitectura del sistema automatizado de pintura

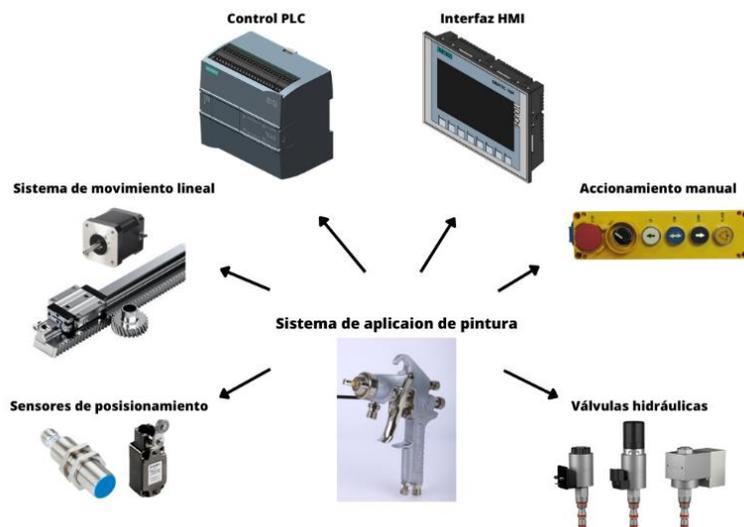


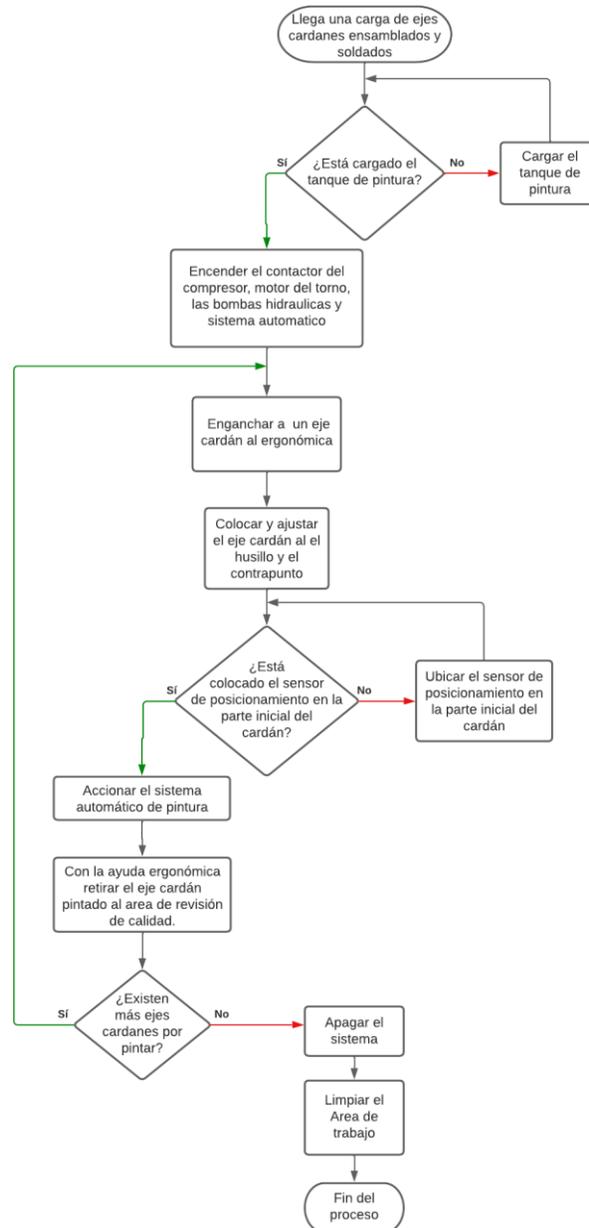
Diagrama funcional del proceso automático

El diagrama funcional de la figura 49 es una representación gráfica que nos permite observar la funcionalidad del proceso que se quiere obtener con el nuevo sistema de pintado automático.

El proceso inicia cuando llega una carga de ejes cardanes al área de pintura, esta carga pueden poseer varios modelos de ejes cardanes, por lo que se tiene que ajustar manualmente el sensor de posicionamiento para identificar la longitud que se debe pintar.

Figura 49

Diagrama funcional del proceso de pintura con el sistema automático



Selección del motor

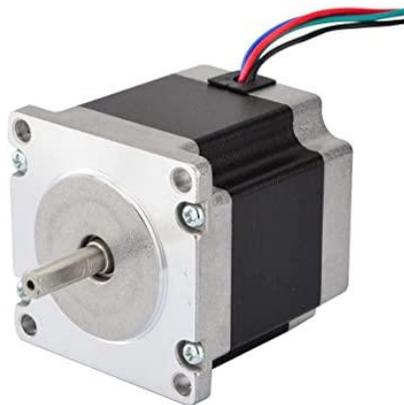
Se tomó en cuenta las siguientes opciones para transmitir fuerza y movimiento al sistema:

- *Motor AC, caja reductora y variador de frecuencia.*
- *Servomotor y Servo drive acoplado.*
- *Motor a pasos y Drive acoplado.*

Después de un análisis de costos, baja velocidad y torque requerido y espacio disponible se decidió utilizar motores paso a paso Nema 23 (figura 50), las características de este motor se presenta en la tabla 2.

Figura 50

Motor paso a paso Nema 23



Nota. Obtenido por PerfilesCNC.com.

Tabla 5*Principales características del controlador TB6600*

Parámetros	Característica
Corriente de entrada	1 - 5A
Voltaje de alimentación	9 – 42VDC
Corriente de salida	0.5 - 4.0 A
Potencia (max)	160 W
Micro Step	8 – 10 – 15

Nota. Datos tomados de Megatrónica.

Input & Output:**Señal de entrada:**

PUL+	Señal de pulso +
PUL-	Señal de pulso –
DIR+	Dirección +
DIR-	Dirección –
EN+	Deshabilitar +
EN-	Deshabilitar -

Conexión del motor:

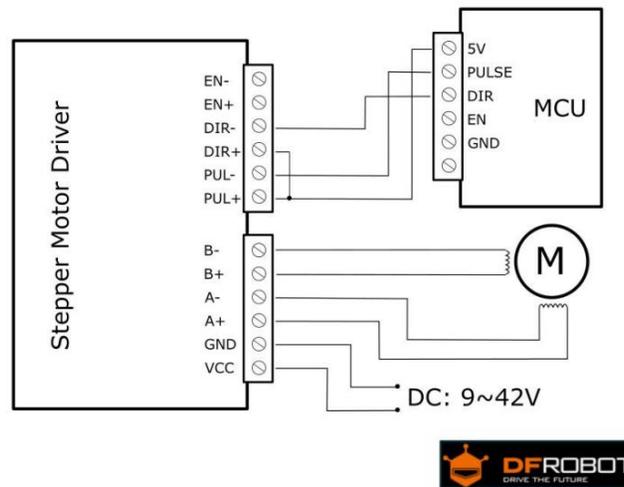
A+	Stepper motor A+
A-	Stepper motor A-
B+	Stepper motor B+
B-	Stepper motor B-

Fuente de energía:

VCC	VCC (DC9-42V)
GND	GND

Figura 52

Conexión típica del driver con una unidad de control.



Nota. Tomado de DFROBOT.

DIP Switch

El controlador posee en la parte superior un DIP switch como se observa en la figura 53, con 6 interruptores, los tres primeros: S1, S2 y S3 sirven para configurar micro pasos y los 3 últimos: S4, S5 y S6 que sirven para configurar la corriente de salida, dependiendo de nuestras necesidades. Este DIP switch debe ser configurado correctamente de acuerdo a las tablas que se muestran en la carcasa del driver como en la figura 54, para evitar problemas de funcionamiento.

Figura 53

Dip Switch del controlador TB6600



Nota. Tomado de Stelltron.

Configuración de micro-paso. Cuando se requiere una alta precisión del motor se trabajan con micro pasos que ayudan a dividir el número de pasos por vuelta del motor.

$$\text{Ángulo de paso} = \text{Ángulo de paso del motor} / \text{Micro paso.}$$

En el presente sistema no se requiere de micro-pasos debido a que la precisión del motor es la ideal para el funcionamiento, por lo que la configuración según la figura 52 para los 3 primeros interruptores respectivamente deberían ser:

- ON/ON/ON
- ON/ON/OFF

Figura 54

Configuraciones de DIP Switch en el TB6600.

Microstep Driver									
Micro step	Pulse/rev	S1	S2	S3	Current(A)	PK Current	S4	S5	S6
NC	NC	ON	ON	ON	0.5	0.7	ON	ON	ON
1	200	ON	ON	OFF	1.0	1.2	ON	OFF	ON
2/A	400	ON	OFF	ON	1.5	1.7	ON	ON	OFF
2/B	400	OFF	ON	ON	2.0	2.2	ON	OFF	OFF
4	800	ON	OFF	OFF	2.5	2.7	OFF	ON	ON
8	1600	OFF	ON	OFF	2.8	2.9	OFF	OFF	ON
16	3200	OFF	OFF	ON	3.0	3.2	OFF	ON	OFF
32	6400	OFF	OFF	OFF	3.5	4.0	OFF	OFF	OFF

Nota. Tomado de DrufelCNC.

Configuración de la corriente de salida. En este caso la configuración de acuerdo a los parámetros del motor que son de 2.8A se trabajará con la configuración de los 3 últimos interruptores como: OFF/OFF/ON (respectivamente).

Selección del PLC

De acuerdo a las especificaciones por parte de la empresa auspiciante se elige la marca Siemens para todas sus máquinas.

Para la selección del modelo de controlador PLC se hace recuento de los requerimientos de los equipos ya seleccionados como son:

- 2 salidas para el driver TB6600, una salida para generador de pulsos PTO / PWM y una de dirección.
- 2 Salidas para las solenoides de activación de la pistola
- 3 entradas para los sensores fin de carrera e inductivo.
- 2 entradas para la botonera de Start y Stop de emergencia.

En total tenemos 3 salidas digitales y 1 salida de PTO/PWM y 5 entradas digitales.

Todos estos equipos requieren de una señal de corriente continua.

Por lo tanto el controlador PLC seleccionado es un modelo CPU 1211C DC/DC/DC Firmware versión V4.5.

Figura 55

Controlador Siemens S7-1200



Nota. Tomado de Siemens

Tabla 6*Características del PLC S7-1200*

Características	Valor
Voltaje de entrada	24VDC
Corriente de entrada	300mA
Voltaje de salida	5VDC
Corriente máx. de salida	750mA
Entradas digitales	6
Salidas digitales	4
Entradas análogas	2
Salidas análogas	0

Variables del PLC

Para la programación del PLC se utilizaron las siguientes variables:

Tabla 7*Variables de entrada del PLC*

Nombre	Dirección
Eje_1_FinalCarreraHwInferior	%I0.0
Eje_1_FinalCarreraHwSuperior	%I0.1
Eje_1_Sensor del punto de referencia	%I0.2
ACTIVAR EJE	%I0.3
STOP	%I0.4
START	%I0.5

Tabla 8*Variables de salida del PLC*

Nombre	Dirección
Eje_1_Impulso	%Q0.0
Eje_1_Sentido	%Q0.1
AIRE	%Q0.2
PINTURA	%Q0.3

Tabla 9

Variables de memoria del PLC

Nombre	Dirección
MANDAR A HOME	%M0.1
MOVER A LA DERECHA	%M0.2
MOVER A LA IZQUIERDA	%M0.3
EN HOME	%M0.4

Programación del PLC

Para el control del driver del motor se utilizó la herramienta de “Objeto tecnológico Eje” tomando en cuenta las variables antes mencionadas se selecciona:

Figura 56

Configuración del “Objeto tecnológico 1”

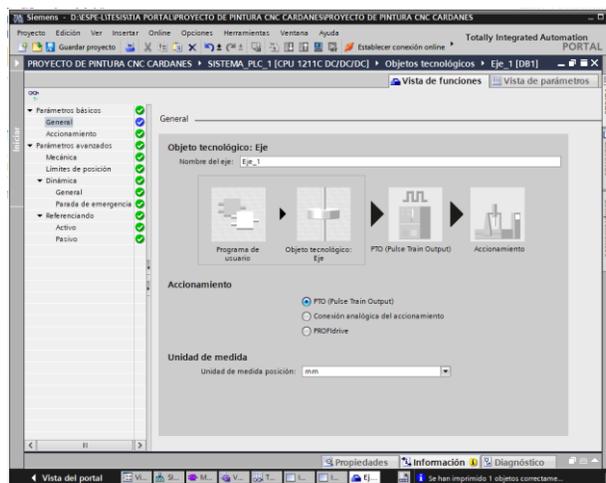


Figura 57

Configuración del "Objeto tecnológico 2"

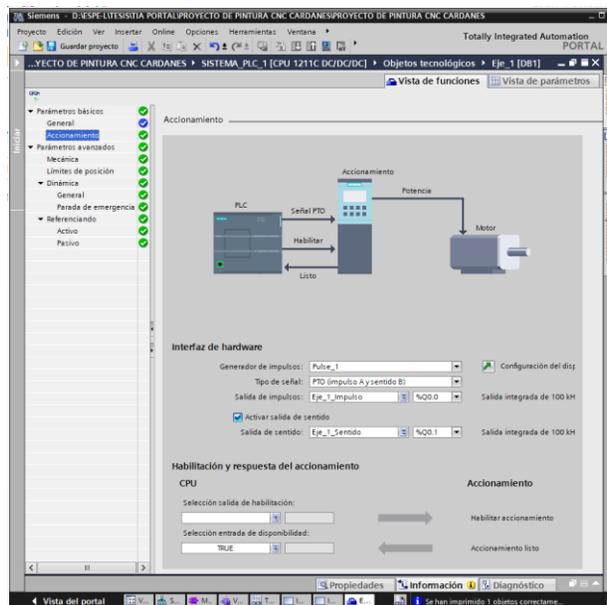


Figura 58

Configuración del "Objeto tecnológico 3"

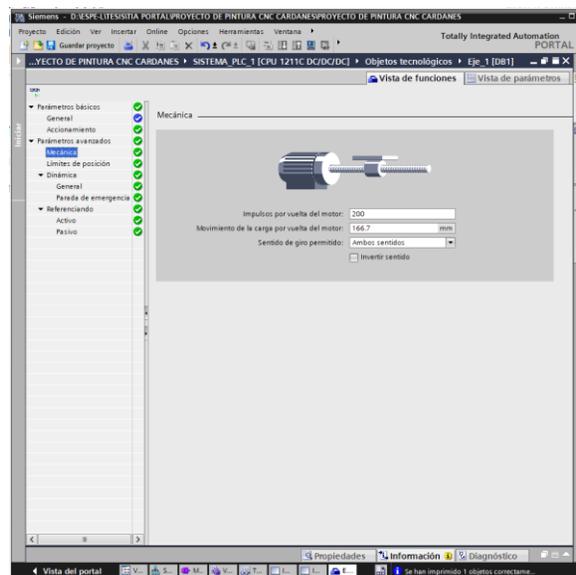


Figura 59

Configuración del "Objeto tecnológico 4"

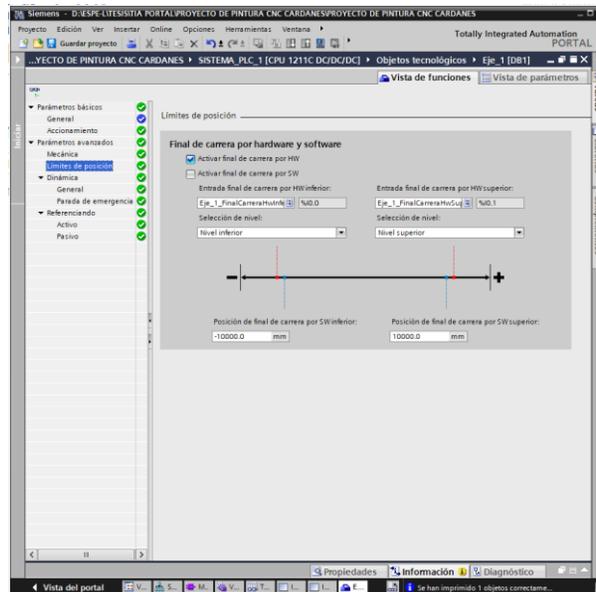


Figura 60

Configuración del "Objeto tecnológico 5"

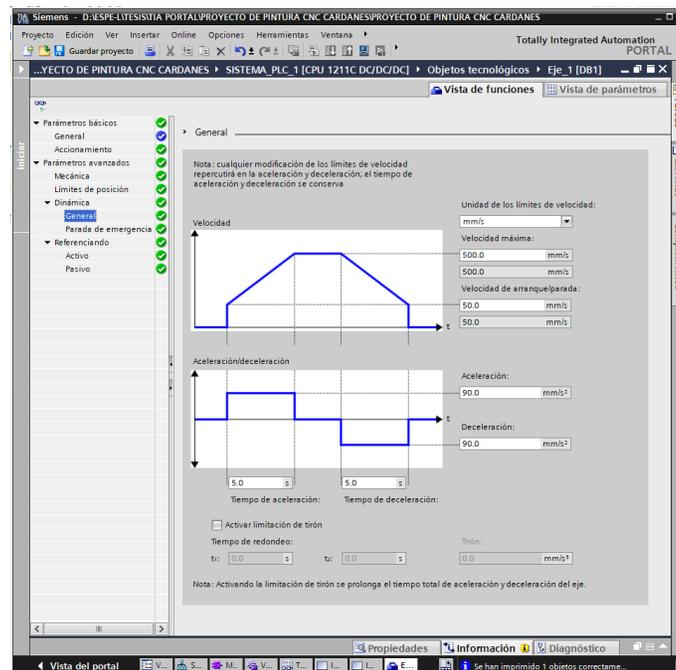
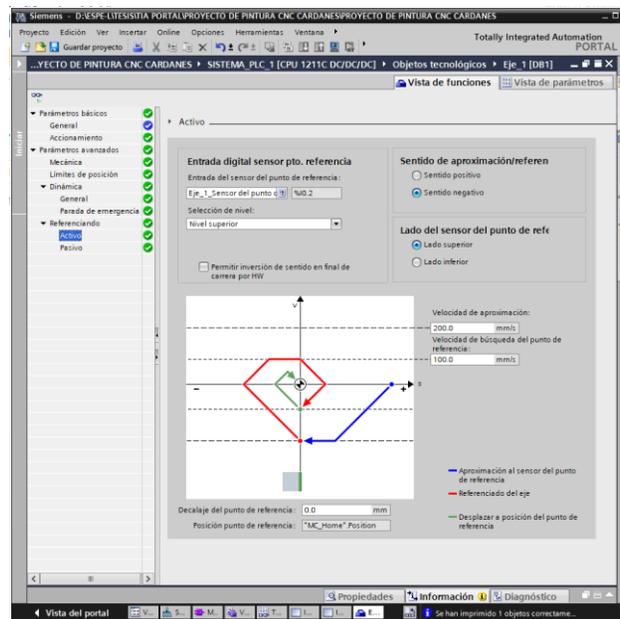


Figura 61

Configuración del “Objeto tecnológico 6”



Con esta configuración se procedió a realizar la programación del PLC con varias funciones que ofrece este objeto tecnológico ver ANEXO.

Selección del módulo HMI

Se eligió la pantalla SIMATIC HMI KTP400 BASIC PN por su tamaño y precio. El modelo de pantalla inferior en características tiene la pantalla de menor tamaño y monocromática, lo que dificulta la visualización para el operador.

Figura 62

SIMATIC HMI KTP400 BASIC PN



Nota. Tomado de Siemens.

Diseño de la interfaz HMI

A continuación se presenta el diseño de la interfaz de la pantalla HMI, la cual debe ser sencilla y confortable para el usuario que en este caso será el operador del proceso. En esta pantalla se tendrá una imagen raíz con el nombre del proceso, y una segunda para el ingreso de datos como la velocidad deseada del motor y el tiempo de espera de pintura que se necesita al inicio y al final del pintado para que dé una vuelta completa antes de arrancar y finalizar con el movimiento lineal.

Figura 63

Imagen raíz de la Pantalla HMI



Figura 64

Imagen de ingreso de datos de la pantalla HMI



Selección de sensores

Sensores por contacto (Fin de carrera)

Los sensores fin de carrera en este caso se utilizarán para sensar el principio y el final del recorrido del sistema de transmisión. En este caso se utilizarán modelo estándar con rodillo (Figura 66). Este dispositivo tiene unas características de voltaje máximo de trabajo 250V, y una corriente máxima de 16A que lo hace ideal para la aplicación con el sistema de control.

Figura 65

Sensor final de carrera.



Nota. Fuente TECmicro.com

Sensor Inductivo

Para el sensor capacitivo que nos ayudara a detectar el principio del eje cardán se escogerá ya sea un dispositivo NPN o PNP de 3 hilos de señal continua, el cual permita detectar a una distancia larga entre 15- 30mm figura 67.

Figura 66

Sensor de proximidad inductivo



Nota. Tomado de ElectronicSB

Selección de los solenoides de aire y pintura.

Las válvulas solenoides nos van a permitir accionar la pistola de pintura, para ello se necesitarán una para al circuito de aire y otra para el de la pintura. Existen válvulas solenoides que funcionan tanto para fluidos como para gases, el parámetro más importante es le dimensión del conducto de pintura y aire que son: 3/8 y 1/2 de pulgada respectivamente.

Además, hay que tener en cuenta que el fluido de la pintura con el solvente tiene una viscosidad de 18- 22 segundos copa Zahn #2. Con esto se tiene:

$$V = 3.5(t - 14)$$

$$V = 3.5(20 - 14)$$

$$V = 21CsT$$

Con esto podemos referirnos a las características de la válvula solenoide:

Figura 67*Válvula solenoide**Nota.* Tomado de Innovatech

Características:

- Medio de trabajo: agua, aceite, aire
- Operación, tipo: Acción Directa
- Estado: Normalmente cerrado
- CV: 4,8
- Tamaño de la tubería: 3/4"
- Viscosidad de operación: En 20CsT
- Presión de funcionamiento: 0-10 temperatura de funcionamiento: -5 ~ 80 grados
- Voltaje: 110VAC
- Presión: 0 a 10 Kg/cm³

Esta válvula solenoide cumple con los requisitos del sistema.

Selección del relé para los solenoides

Estos relés nos permitirán activar las válvulas solenoides mediante una señal del PLC, necesitan una alimentación de corriente continua directa y un conector de señal del PLC.

Figura 68

Relé estado sólido



Nota. Tomado de Mgsystem

Este dispositivo soporta un voltaje de 220V y una corriente de 2A, con un voltaje de entrada de 5V DC y corriente de entrada de 160mA lo hace perfecto para la comunicación del PLC.

Selección de fuente de alimentación

El voltaje que se requiere para el funcionamiento del PLC y el driver del motor es de 24 VDC, y la corriente total que consumirá el sistema será de 5.26A. Con estos parámetros se adquirió una fuente de ± 24 VDC / 10A / 240W (Ver figura 70).

Figura 69

Fuente de corriente continua para el PLC



Nota. Tomado de Mean Well

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Se analizaron diferentes sistemas para la implementación del proyecto tomando en cuenta la disponibilidad del espacio de trabajo dentro de la cámara de pintura del proceso, teniendo como resultado un sistema delgado de fácil maniobrabilidad y mantenimiento, para contribuir con los procesos realizados para la obtención del producto final.

Se diseñó un sistema de transmisión cadena-catarina poco convencional que utiliza el movimiento de un motor paso a paso para la transmisión de energía, controlado por un PLC que genera una señal de pulsos para el funcionamiento del driver del motor, llegando a un acuerdo con la empresa en utilizar materiales a disposición dentro de la industria, para facilitar los procesos de mantenimiento y remplazo de dispositivos.

Se realizaron los diseños mecánicos de las piezas con la herramienta de Inventor de Autodesk para crear un ensamble que permita analizar las medidas y realizar un análisis de tensión y estructural para identificar posibles fallas en el diseño.

Se realizó el diseño de la programación del PLC con la ayuda de la herramienta “Objetos tecnológicos” dentro del programa TIA Portal V16 de la marca Siemens, que permitió crear comandos de control para la activación del driver TB6600 del motor paso a paso de acuerdo a las necesidades del programa, además se diseñó imágenes de la pantalla HMI que permitirá facilitar la interacción hombre-máquina.

Se a presentó a la empresa el diseño mecánico y de control para su revisión, la cual fue aprobada en su totalidad, indicando fecha de implementación del sistema para el segundo semestre del 2023, con la seguridad del mejoramiento de la producción del área de cardanes.

Recomendaciones

Con el diseño presentado que permite la activación y pintado a distancia se podrá implementar mecanismos de protección que permitan cerrar la cámara de pintura para proteger al operador de las partículas de pintura que se esparcen en el aire causando daños a la salud y generando gastos en equipos de protección persona.

El diseño implementado puede adaptarse a nuevos modelos de cardanes de mayor longitud con lo que se recomienda reutilizar el sistema realizando un alargamiento en el eje guía de la base metálica, para ahorrar costos con la generación de un nuevo mecanismo y diseño.

Algunos ejes cardanes tienen partes que no es necesario aplicar el convertidor de óxido por lo que se recomienda utilizar las herramientas de programación del PLC expuestas en este proyecto para generar un código que permita ahorrar pintura en estos modelos de ejes cardanes.

Este proyecto en el sistema de aplicación de pintura se realizó una adaptación a una pistola manual por medio de dos solenoides que permiten activar la pistola. Existe en el mercado internacional válvulas de pulverización se activan neumáticamente, permitiendo ahorrarse una válvula solenoide, además que evita activaciones bruscas en el sistema.

Bibliografía

- Alonso Felipe, J. V. (2020). *PINTURAS, BARNICES y AFINES: Composición, formulación y caracterización*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Alonso Pérez, J. M. (2014). *Sistemas de transmisión y frenado*. Madrid: Paraninfo.
- Electronica Universal de Monterrey. (2020). *¿Qué es un relé de estado sólido?* Obtenido de <https://www.electronicauniversal.com.mx/2021/10/19/que-es-un-rele-de-estado-solido/>
- ESPINOSA, A. D. (2019). *TRABAJO DE ANÁLISIS DEL COSTO BENEFICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PROCESOS PRODUCTIVOS AUTOMATIZADOS PARA LA ELIMINACIÓN DE INSPECCIONES REDUNDANTES DE LAS EMPRESAS AUTOPARTISTAS. CASO: TRANSEJES ECUADOR CÍA. LTDA*. Quito: TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGISTER EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS CON MENCIÓN EN OPERACIONES EN SECTORES ESTRATÉGICOS.
- IPtech Engineering. (2022). *Automatización y tecnología para la industria 4.0*. Obtenido de <https://iptech.pe/blog/introduccion-a-los-sistemas-de-automatizacion-y-tecnologia-industrial/>
- Jefferson Sudamericana S.A. (2019). *Valvulas Solenoide "Información de ingeniería"*. Obtenido de <http://www.jefferson.com.ar/en/down/Catalogo%20Neumatica-Hidraulica.pdf>
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México : Pearson.
- Norton, R. L. (2011). *Diseño de máquinas un enfoque*. México: Pearson Educación.
- Quiroz Gaviria, S. G. (2021). *Reducción de los costos de fabricación para recubrimientos alquídicos de alto desempeño para la industria marina y de protección*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Sanchis Llopis, R., Romero Pérez, J. A., & Ariño Latorre, C. V. (2019). *Automatización Industrial*. Castellón de la Plana: Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions.

Soria Tello, S. (2015). *Sistemas Automáticos Industriales de Eventos Discretos*. México D.F.: Alfaomega S.A.

Student Lesson. (17 de Septiembre de 2020). *Everything you need to know about timing*.

Obtenido de https://studentlesson.com/timing-belt-definition-functions-diagram-working/#Timing_Belt_Definition

Tutiven Bonilla, A. F. (2021). *Diseño de un sistema de aplicación de pintura sin ser*. Guayaquil - Ecuador: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

Anexos: