

## SISTEMA AUTOMATIZADO DE APERTURA Y CIERRE PARA LAS PUERTAS DE UN HANGAR. CASO: DIRECCIÓN DE AVIACIÓN NAVAL

### AUTOMATED OPENING AND CLOSING SYSTEM FOR HANGAR DOORS. CASE: NAVAL AVIATION DIRECTORATE

T.S. Sergio Eduardo Paredes Mendoza <sup>1\*</sup>§

Recibido: Diciembre 27, 2022; Aceptado: Febrero 12, 2023

#### RESUMEN

Dentro de los avances tecnológicos, la automatización en la actualidad son parte fundamental de las diferentes empresas, instituciones militares, policiales, públicas, privadas y otras organizaciones, para la Dirección de Aviación Naval el hangar se convierte en el centro de operaciones en tierra para desarrollar el mantenimiento de su aeronave Cessna 340 A-0719; en el presente trabajo se pretende aplicar los conocimientos adquiridos durante la etapa de formación académica para solucionar o mejorar procesos en la institución militar aeronaval, por ello se presentó la idea de desarrollar un sistema automatizado, en el cual el presente proyecto está dirigido al sistema de control y potencia. Tiene como objetivo diseñar un sistema de control y potencia para la apertura y cierre de las puertas del hangar de la Dirección de Aviación Naval que permitan realizar las mencionadas operaciones totalmente automáticas.

**Palabras claves:** Automatización, hangar, sistema.

#### ABSTRACT

Within the technological advances, automation is currently a fundamental part of the different companies, military, police, public, private institutions and other organizations, for the Naval Aviation Directorate the hangar becomes the center of ground operations to develop the maintenance of its Cessna 340 A-0719 aircraft; in the present work it is intended to apply the knowledge acquired during the stage of academic training to solve or improve processes in the aeronaval military institution, for this reason the idea of developing an automated system was presented, in which the present project is directed to the control and power. Its objective is to design a control and power system for the opening and closing of the hangar doors of the Naval Aviation Directorate that allow the aforementioned operations to be carried out fully automatically.

**Keywords:** Automation, hangar, system.

**Citación:** Sergio Eduardo Poma Mendoza, **SISTEMA AUTOMATIZADO DE APERTURA Y CIERRE PARA LAS PUERTAS DE UN HANGAR, CASO: DIRECCIÓN DE AVIACIÓN NAVAL**, Revista Científica EMINENTE 2023, 7-1: 95-106.

<sup>1</sup> Técnico Superior en Sistemas Electrónicos – Carrera de Sistemas Electrónicos – Tecnológico La Paz - Unidad Académica La Paz - Escuela Militar de Ingeniería.

\* Corresponde al Autor (correo electrónico: rpomat@est.emi.edu.bo).

§ Dirección de contacto Investigador primer autor: Zona Villa Nuevo Potosí C/4to Centenario N 1214 - Telf.: (+591) 71965135 La Paz – Bolivia.

## INTRODUCCIÓN

Dentro del desarrollo tecnológico, la automatización en la actualidad se constituye en parte fundamental de las diferentes empresas, instituciones militares, policiales, públicas y privadas, para la Dirección de Aviación Naval el hangar es su centro de mantenimiento en tierra para la aeronave Cessna 340 A-0719; en el presente trabajo se pretende aplicar los conocimientos adquiridos durante la etapa de formación académica en la Escuela Militar de Ingeniería a fin de poder solucionar o mejorar procesos en la institución militar aeronaval.

Luego de haber realizado las investigaciones referentes al presente proyecto, se establece como objetivo específico, diseñar un sistema automatizado de apertura y cierre para las puertas de un hangar. Caso: Dirección de Aviación Naval.

La unidad militar a la cual va direccionada el presente proyecto está conformada por técnicos de aviación que puedan emplear la información, como base para poder realizar una implementación de forma real, ya que con ello en un futuro reduciría el esfuerzo físico de los trabajadores, mejoraría la seguridad y confiabilidad de los técnicos de mantenimiento en tierra dentro de las instalaciones del hangar de la Dirección de Aviación Naval.

El proceso metodológico que se utilizó es a partir de los principios teóricos de los circuitos eléctricos y electrónicos se desarrolla un sistema de control y potencia automatizado.

Durante el desarrollo de este proyecto se presentaron algunas dificultades como la falta de material bibliográfico para poder recabar mayor información que estén relacionados con el presente proceso y la falta de algunos conocimientos vitales como mecánica y programación de PLC's ya que este proyecto se desarrolla en gran parte en base a una estructura mecánica y componentes electrónicos programables.

## METODOLOGÍA

### Tipo de investigación: Estudio de caso

El tipo de investigación utilizado para la realización del presente proyecto de grado técnico es cualitativa

y cuantitativa, porque a partir de los principios teóricos de la electricidad, electrónica y mecánica se desarrolla el presente sistema.

### Características

Este tipo de investigación tiene como características un análisis de situaciones, donde se pueden desarrollar procesos tecnológicos, tomando en cuenta características y procesos que se viven actualmente en los hangares militares.

### Fases del proceso de investigación

1. Determinar los objetivos del proyecto.
2. Indicar las técnicas de recolección de información y observación van a ser utilizadas.
3. Recabar los datos obtenidos.
4. Análisis de los resultados y debate del significado en función de los objetivos propuestos al iniciar el estudio.
5. Construcción de un prototipo.

### Información obtenida

Se realizó entrevistas personalizadas con técnicos que son encargados de la apertura y cierre de las puertas en el hangar de la Dirección de Aviación Naval.

Adicionalmente se utilizó la observación directa dentro del mencionado hangar, para determinar el diseño del mecanismo que se desarrollaría de acuerdo a las características de la estructura.

Se utilizó libros relacionados con circuitos, programación Ladder, PLC's y otros. Asimismo, se investigó en bases de datos de internet sobre este tema específico.

Una vez recopilada la información, se comenzó a hacer un análisis del tema y se procedió a clasificarla de acuerdo a una jerarquía para poder elaborar un cronograma de actividades.

Inicialmente se elaboró el sistema mecánico, con todos sus componentes, el paso siguiente fue diseñar el sistema eléctrico - electrónico y finalmente la elaboración de un prototipo para comprobar la efectividad del sistema automatizado.

## ESTUDIO TÉCNICO

Para el desarrollo del proyecto es necesario tener en conceptos teóricos de los diferentes componentes que conforman el sistema tales como: PLC's, motores, relés, variadores de frecuencia, sensores, conductores eléctricos y otros elementos electrónicos que tengan relación con el tema. Asimismo, para el diseño mecánico, se requiere conocer acerca de los tipos de materiales y elementos para implementar físicamente un prototipo a escala reducida.

### Componentes eléctricos y electrónicos

Para desarrollar el sistema automatizado que está conformado por un circuito de control y otro de potencia que se encargan del funcionamiento de las puertas del hangar, se determinó un marco teórico de los siguientes componentes básicos:

- Controlador lógico programable
- Motores
- Sensores
- Diseño de estructuras mecánicas
- Circuitos eléctricos
- Circuitos electrónicos
- Variador de frecuencia

### Controlador Lógico Programable

Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos.

Figura 1. Controlador Lógico Programable



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 1 un controlador lógico programable tiene una pantalla de interfaz entre el operario y los actuadores del sistema (motores, sensores, luces) donde se puede visualizar los diferentes procesos codificados en lenguaje ladder por el usuario, botones de parametrización para el sistema, Asimismo, puertos de entradas y salidas digitales que permite la comunicación de los componentes con el microcontrolador.

### Estructura general de un Controlador Lógico Programable:

Un dispositivo industrial electrónico que utiliza memorias programables para almacenar instrucciones de usuario y así controlar procesos, máquinas, dispositivos mediante entradas y salidas digitales o analógicas. Debido a que su funcionamiento es enteramente digital, consta de varios componentes parecidos a los que podemos encontrar en una computadora. Por tanto, su diseño y funcionamiento son de similares características a las de una tarjeta madre. El controlador lógico programable consta de 2 partes principales: hardware y software.

### Hardware de un PLC:

Parte física, tangible del dispositivo, donde se encuentran alojados los distintos bloques que hacen posible el correcto funcionamiento del PLC, como por ejemplo la batería, los módulos de memoria, los módulos de entradas y salidas analógicas y/o digitales.

### Software de un PLC:

Correspondiente a la parte no tangible, es decir, los programas cargados en los bloques de memoria, así como también las instrucciones alojadas en la memoria ROM del sistema.

Podemos analizar al PLC por su estructura interna en el diagrama de bloques ilustrados en la figura 26, donde se observa que se cuentan con arreglos de memorias destinados a alojar datos, programas, se cuenta con un procesador o unidad de control, interfaces de entrada y salida, buses de comunicación, temporizadores y contadores.

#### Lenguajes de programación para un PLC:

Los lenguajes de programación de PLC son símbolos, caracteres y reglas de uso que fueron diseñados para poder tener una comunicación de los usuarios con las máquinas. Gracias a este vínculo, podemos ser capaces de crear un programa con instrucciones para controlar el funcionamiento de cualquier proceso o máquina.

#### Tipos de lenguaje de programación para un PLC:

Existe diversidad dentro de los lenguajes de programación debido a que los usuarios tienen diferente formación en diferentes ramas de la ingeniería, por ejemplo, los ingenieros o técnicos eléctricos y electrónicos están acostumbrados a utilizar símbolos en los diagramas eléctricos, mientras que los ingenieros en sistemas siempre utilizan lenguajes escritos, por lo cual unos prefieren programar un lenguaje más visual y otros prefieren un lenguaje escrito. Los lenguajes de programación de PLC pueden clasificarse en dos clases, lenguajes de alto y bajo nivel cada uno con diferentes tipos:

#### Lenguajes de alto nivel:

En esta categoría se encuentran los lenguajes que son gráficos, ya que estos utilizan una interfaz de símbolos para declarar las instrucciones de control, una de las desventajas de estos lenguajes visuales es que la programación está limitada a los símbolos que se proporcionan.

#### Lenguajes de bajo nivel:

En este tipo se encuentran los lenguajes de programación a través de texto, utilizando cadenas de caracteres para indicar las instrucciones de control.

#### Motores eléctricos:

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas que transforman en energía mecánica la energía eléctrica que absorben por sus bornes, su aplicación se encuentra principalmente en los procesos industriales. (Roldan Vildoria, 1989).

#### Principios de funcionamiento:

El principio de funcionamiento de los motores eléctricos se basa en la acción del flujo giratorio generado en el circuito estatórico sobre las corrientes inducidas por dicho flujo en el circuito del rotor. El flujo giratorio creado por el bobinado estatórico corta los conductores del rotor, por lo que se generan fuerzas electromotrices inducidas. Suponiendo cerrado el bobinado rotórico, es de entender que sus conductores serán recorridos por corrientes eléctricas. La acción del flujo giratorio y las corrientes existentes en los conductores del rotor originan fuerzas electrodinámicas sobre los propios conductores que arrastran al rotor haciéndolo girar. (Roldan Vildoria, 1989).

#### Partes de un motor:

Dentro de las características fundamentales de los motores eléctricos, estos se hallan formados por varios elementos, sin embargo, las partes principales son: el estator, la carcasa, la base, el rotor, la caja de conexiones, las tapas y los cojinetes. No obstante, un motor puede funcionar solo con el estator y el rotor. (Roldan Vildoria, 1989).

Figura 2. Imagen de un motor eléctrico



Fuente: InfoPLC

#### Estator:

El estator es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente, pero sí magnéticamente.



Rotor:

El rotor es el elemento de transferencia mecánica, ya que de él depende la conversión de energía eléctrica a mecánica. Los rotores, son un conjunto de láminas de acero al silicio que forman un paquete.

Clasificación de los motores eléctricos:

De acuerdo al tipo de corriente que utilizan para su funcionamiento los motores eléctricos, se clasifican en dos tipos: motores de corriente continua y corriente alterna.

Motores de corriente alterna:

Este tipo de motores tienen el mismo principio de funcionamiento que los motores de corriente continua, sin embargo, debido a que emplean fuentes de energía alterna, la mayoría de las aplicaciones son con estos tipos de motores. Existen dos tipos de motores de corriente alterna, los cuales son:

- Motores síncronos.
- Motores asíncronos

Variador de frecuencia:

Sirven para regular la velocidad de giro de los motores de corriente alterna, es decir, se trata de controlar la velocidad del motor. Los variadores o convertidores de frecuencia “convierten” la corriente alterna de la red eléctrica en corriente continua.

Figura 3. Variador de frecuencia WEG



Fuente: Elaboración propia

## COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Sensor final de carrera:

Un final de carrera es un dispositivo eléctrico, neumático o mecánico situado al final del recorrido o de un elemento móvil, como por ejemplo una cinta transportadora, con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito. Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA), cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados.

Regulador de voltaje lineal:

Los reguladores de voltaje lineales son especialmente útiles dada su circuitería simple y facilidad de uso. Los reguladores lineales son elementos de tres terminales, generalmente. Están basados en circuitos analógicos con realimentación que ajustan el voltaje de salida dependiendo de la señal de realimentación.

Placa PCB:

Una placa de circuito impreso es una superficie constituida por caminos, pistas o buses de material conductor laminadas sobre una base no conductora. El circuito impreso se utiliza para conectar eléctricamente a través de las pistas conductoras, y sostener mecánicamente, por medio de la base, un conjunto de componentes electrónicos. Las pistas son generalmente de cobre, mientras que la base se fabrica generalmente de resinas de fibra de vidrio reforzada, cerámica, plástico, teflón o polímeros como la baquelita.

Sensor infrarrojo:

El sensor infrarrojo es un componente electrónico compuesto normalmente de un diodo emisor de luz (LED) infrarrojo y un fototransistor colocados uno al lado del otro, de forma que el LED actúa como emisor y el fototransistor como receptor. El LED infrarrojo emite luz infrarroja, es decir, de mayor longitud de onda que no la podemos ver los humanos, así que para nosotros es invisible. Si esta luz choca contra una superficie blanca se reflejará y llegará al fototransistor. Si por el contrario golpea en una superficie negra, el material absorberá la mayoría de la luz y no llegará al fotoreceptor.

## ANÁLISIS DEL PROCEDIMIENTO MANUAL DE APERTURA Y CIERRE DE LAS PUERTAS DEL HANGAR

Para realizar el análisis del actual procedimiento manual de apertura y cierre de las puertas del hangar de la Dirección de Aviación Naval, se llevó a cabo la recolección de datos e información, empleando las diferentes técnicas que conocemos, tales como: cuestionarios, entrevistas, debates y otros que permitió analizar, evaluar y de esa forma desarrollar el sistema automatizado que anule los riesgos laborales y daños a las mencionadas infraestructuras.

Análisis de datos:

Como una primera etapa, se llevó a cabo la recolección de datos mediante encuestas realizadas a un total de cuarenta y un personas tanto militares como también civiles, los mismos se encuentran destinados en la Dirección de Aviación Naval, con el objetivo de evaluar la importancia de implementar un sistema automatizado que coadyuve a mejorar el proceso de apertura y cierre de las puertas del hangar aeronaval.

En ese sentido, se realizó un cuestionario empleando para ello el software en línea denominado Microsoft Forms, que pertenece a Office 365, el mismo consta de cinco preguntas planteadas que hacen referencia al procedimiento actual de apertura y cierre de las puertas del hangar de la Dirección de Aviación Naval, los riesgos laborales que conlleva esta operación efectuada de forma manual por los trabajadores y otros aspectos que ayudaron al diseño de un sistema electromecánico que cumple los lineamientos trazados en los objetivos específicos.

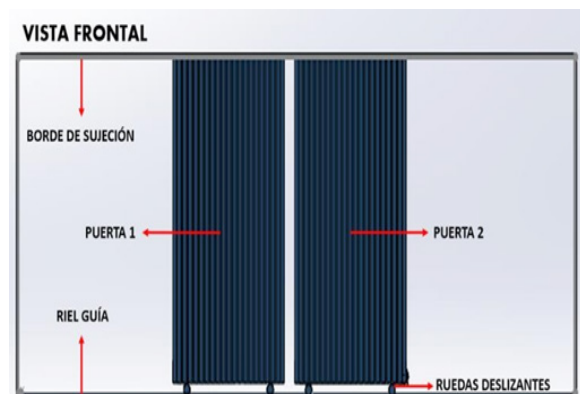
## DISEÑO DE LAS PUERTAS Y EL SISTEMA MECÁNICO

Para un mejor diseño del sistema mecánico, se realizó el análisis de la estructura y el mecanismo manual de apertura y cierre de las puertas del hangar de la Dirección de Aviación Naval, con el que se logró establecer el mecanismo adecuado que realiza la mencionada operación; el diseño del sistema fue desarrollado con el software SolidWork, empleando el acero A-36 como material de construcción para las diferentes piezas que conforman esta estructura,

debido a que su empleo es común en varios campos laborales e industriales, además de ser un producto que se puede adquirir dentro del mercado interno.

El diseño de las diferentes partes que conforman el sistema mecánico está en base a las medidas proporcionadas por el personal técnico que trabaja en la Dirección de Aviación Naval, estas piezas están diseñadas y detalladas por separado en distintas áreas de trabajo que proporciona el software empleado para esta tarea, es decir, se tiene las figuras, medidas, datos técnicos de cada puerta, cremallera, piñón, ruedas deslizantes, bordes de sujeción de las puertas, riel de sección cuadrada como guía para el desplazamiento de las puertas y los respectivos acoples de las ruedas.

Figura 4. Diseño del sistema mecánico



Fuente: Elaboración propia

Diseño de las puertas:

El sistema mecánico desarrollado está conformado sobre la base de dos puertas, sus dimensiones de cada una de ellas son: 3 m de largo, 2 m de ancho y un espesor de 0.08 m. Para el diseño y ensamble de cada una de las partes que integran esta estructura a ser automatizada, se empleó el software SolidWork en su versión 2016.

Ruedas deslizantes:

Se diseñó un modelo con las medidas respectivas, de las cuales se emplean cuatro unidades, dos por cada puerta, estas están acopladas en sus respectivos soportes de acero descritas en el párrafo anterior. Estas ruedas deslizantes han sido diseñadas de

acuerdo a las medidas del nuevo riel de sección cuadrada con el cual se logró una mejor operación y mayor seguridad durante el proceso automático de apertura y cierre de las puertas del hangar, la misma tiene un peso de 1,5 Kg.

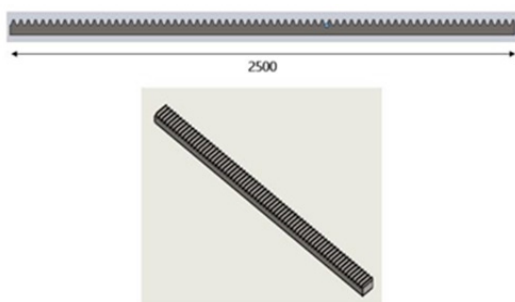
Piñón:

El piñón es uno de los elementos más empleados para la transmisión de movimientos entre ejes y existen diferentes tipos, siendo el piñón recto uno de los más característicos. Para el cálculo del piñón que se diseñó, primeramente, se determinó el número de dientes y su módulo que es la relación que existe entre el número de dientes del piñón y su diámetro primitivo.

Cremallera:

La cremallera fue diseñada con el software SolidWork y forma parte del sistema mecánico que impulsa las puertas del hangar de la Dirección de Aviación Naval.

Figura 5. Diseño de la cremallera



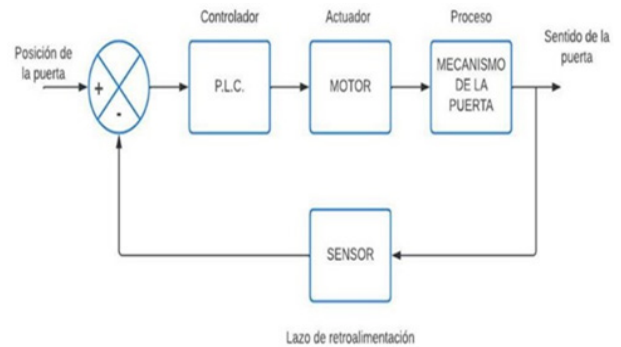
Fuente: Elaboración propia

## DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

Estructura del sistema eléctrico:

Para el desarrollo del diseño esquemático de apertura y cierre de las puertas del hangar de la Dirección de Aviación Naval se desarrolló un control de lazo cerrado empleando sensores finales de carrera, un motor para cada puerta con sus respectivos variadores de frecuencia que regulan la velocidad de la operación, un controlador lógico programable y un tablero de control en el que se encuentran los elementos de seguridad para el presente sistema automatizado.

Figura 6. Diagrama de bloques del sistema automático

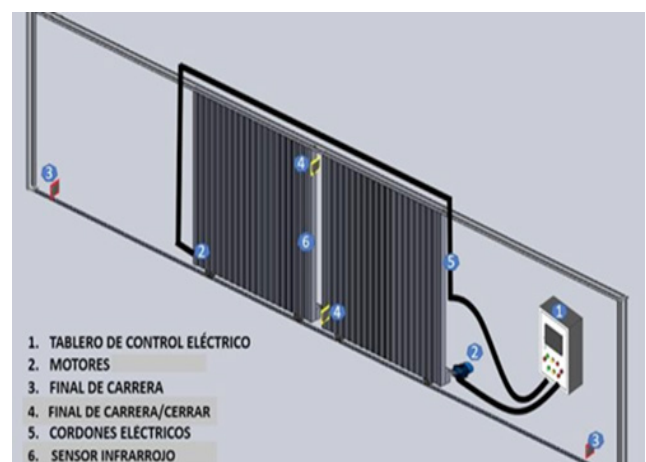


Fuente: Elaboración propia

El sistema de control automático está conformado por diferentes dispositivos eléctricos quienes se encargan de recibir señales analógicas, estas son procesadas por el Controlador Lógico Programable, el cual determina la acción que realizan los elementos eléctricos que están integrados con este microcontrolador de acuerdo a la programación codificada para la apertura y cierre de las puertas del hangar de la Dirección de Aviación Naval.

Para el desarrollo de la estructura eléctrica se determina los diferentes componentes eléctricos que conforman este sistema, cumpliendo cada uno de estos una tarea específica durante un determinado tiempo, los mismos forman parte del circuito de control automático para el proceso de apertura y cierre de las puertas del hangar diseñado; cabe mencionar, que cada puerta será impulsada por un motor de forma independiente.

Figura 7. Diagrama esquemático del sistema



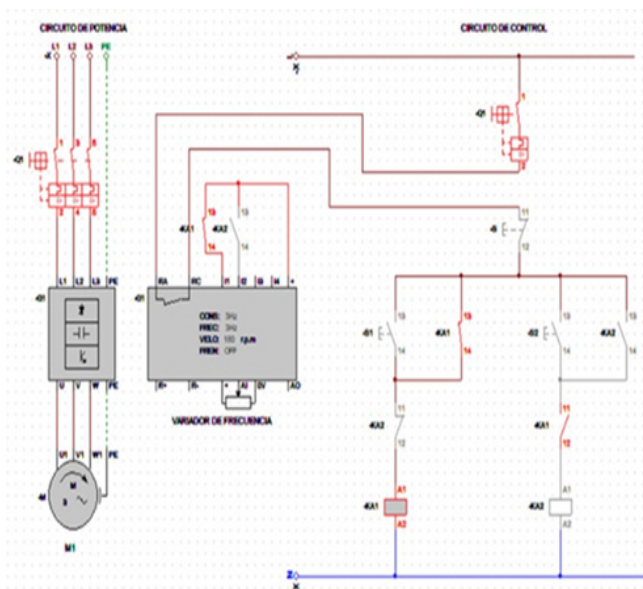
Fuente: Elaboración propia



Para controlar la velocidad de un motor en una determinada aplicación, en este caso, la apertura y cierre de las puertas del hangar, se empleó los conocidos variadores de frecuencia, estos dispositivos ajustan la electricidad de entrada para poder entregar a los motores la cantidad requerida por el sistema.

Los motores están conectados con los elementos de protección necesarios, teniendo en cuenta que para su operación se requiere de un circuito de control y otro de potencia; el arranque y la inversión de giro son regulados de acuerdo al manual de parametrización del variador de frecuencia proporcionado por el fabricante de estos dispositivos electrónicos. Asimismo, el plano eléctrico, las conexiones de los diferentes componentes y la simulación correspondiente se las realizó en el software CadeSimu, los mismos corresponden al circuito de potencia.

Figura 8. Plano eléctrico de los motores



Fuente: Elaboración propia

Estructura del sistema electrónico:

Para el control del sistema automático de apertura y cierre de las puertas del hangar de la Dirección de Aviación Naval se empleó el controlador lógico programable Easy 412 DC TC de marca Pepperl Fuchs, el cual tiene como características principales: control de relé, ocho entradas digitales, dos salidas

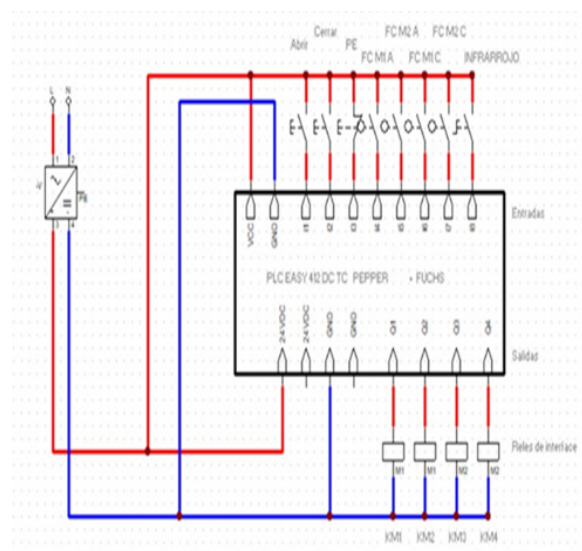
digitales, voltaje de la señal desde 0 hasta 10 V DC y voltaje de salida desde 20,4 V DC hasta 28,8 V DC.

Este dispositivo se destaca debido a que nos proporciona una mejora en el monitoreo del proceso automático, ya que detecta un error y puede detener el sistema para poder ser corregido de manera inmediata por personal capacitado en el manejo del PLC; asimismo, brinda ahorro en costos de operación, mantenimiento, empleo de energía eléctrica y posee un software que puede ser utilizado para su programación de manera segura y sencilla.

Para su programación se utilizó el lenguaje ladder o más conocido como escalera, ya que se trata de uno de los lenguajes más utilizados para la automatización de sistemas eléctricos o electrónicos, su codificación para el sistema fue desarrollado con el software EasySoft Pro, el cual contiene herramientas importantes como la simulación, la comunicación y el diagrama del circuito.

Se realizó la selección de este dispositivo debido a que la diferencia con un microcontrolador, el PLC es utilizado para configuraciones industriales que puedan soportar varias condiciones adversas que están relacionadas con ese entorno, como, por ejemplo, pueden manejar parámetros de temperaturas extremas, ruidos eléctricos y constantes vibraciones.

Figura 9. Diagrama electrónico del PLC



Fuente: Elaboración propia

## SISTEMA DE SEGURIDAD

Sensor final de carrera:

Es un dispositivo electromagnético también conocido como interruptor de limite, el mismo será accionado mecánicamente por contacto de las puertas del hangar cuando estas lleguen al final de su recorrido dando por finalizado el proceso de apertura o cierre automático, por tanto, se utilizarán cuatro finales de carrera, dos para cada puerta. Estos sensores son de configuración normalmente abierto, están conectados con el controlador lógico programable y son alimentados por una fuente de 24 V DC, los mismos enviarán una señal al microcontrolador que hará que se detenga una determinada operación, ya sea de apertura o cierre de las puertas del hangar de la Dirección de Aviación Naval.

Figura 10. Final de carrera



Fuente: Disai Automatic Systems

Sensor infrarrojo:

El sensor infrarrojo es un dispositivo que tiene la capacidad de medir la radiación electromagnética de distintos cuerpos, es frecuentemente utilizado en los procesos industriales de diferentes formas.

Para el desarrollo y construcción del prototipo se utilizó el sensor infrarrojo electrónico E18, el cual tiene encapsulado dentro de una sola carcasa tanto al emisor como el receptor, este dispositivo permite

detectar cualquier objeto o persona que pueda llegar a obstruir específicamente el proceso de cierre de las puertas del hangar, transmitiendo una señal al controlador lógico programable, el cual detendrá la mencionada operación una vez que reciba la señal del sensor para evitar daños personales o materiales.

Figura 11. Sensor infrarrojo



Fuente: Elaboración propia

## CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Para la construcción de las puertas del hangar que forman parte del prototipo, direccionado a la automatización de apertura y cierre de las mencionadas estructuras, se consideró dos etapas, en la primera se hizo fabricar con los especialistas en el área, las diferentes partes que conforman el sistema mecánico y la estructura de las puertas del hangar de acuerdo al diseño realizado con Solid Work en base a las medidas proporcionadas por el personal técnico destinado en esa unidad militar a una escala normalizada de 1:5, y en la segunda etapa se realizó la instalación eléctrica de los componentes que conforman el sistema de control y operación de las puertas, como ser: tablero de operación principal, el controlador lógico programable, los finales de carrera, el sensor infrarrojo, el variador de frecuencia, los pulsadores y los motores.

Una vez realizada la fabricación de las partes que conforman la estructura de las puertas se procedió a realizar el pintado de estas, con las que se fue armando el prototipo para poder efectuar las pruebas funcionales finales que nos ayudaran a determinar las conclusiones y recomendaciones para el presente trabajo de grado desarrollado.

Para que el trabajo se pueda ver de manera objetiva se realizó el montaje de las diferentes partes que componen el hangar de la Dirección de Aviación Naval.

Figura 12. Prototipo final



Fuente: Elaboración propia

El layout para el funcionamiento del sistema automatizado de las puertas está conformado por dos circuitos, uno de potencia y el otro de control. El circuito de potencia se encarga de realizar el trabajo más pesado del sistema, debido a que cumple la función de ejecutar las órdenes configuradas en el circuito de control y está conformada por los siguientes componentes:

- Motores
- Disyuntores
- Relés

Por otra parte, el circuito de control se encarga de recibir información externa que permite ejecutar un determinado proceso de acuerdo a las condiciones programadas en el PLC.

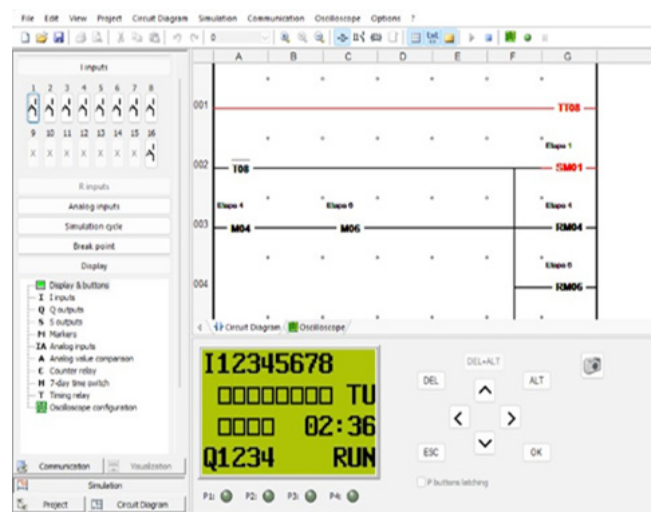
El circuito de control está conformado por 2 variadores de frecuencia y 1 PLC.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del funcionamiento del prototipo.

La construcción del prototipo diseñado se llevó adelante de forma progresiva, en diferentes etapas, como una fase inicial se hizo fabricar las diferentes partes que componen las puertas del hangar en base al diseño efectuado y las medidas correspondientes a una escala reducida de 1:5 con personal capacitado en el área mecánica, llegando a ser concluida de forma positiva. En una segunda fase se realizó la programación del PLC empleando su propio entorno de codificación, para luego realizar la simulación correspondiente del sistema.

Figura 13. Simulación del sistema diseñado



Fuente: Elaboración propia

Luego de haber finalizado la programación del PLC y simulación del sistema de acuerdo a los dispositivos empleados para el funcionamiento adecuado del prototipo se realizó las conexiones de los diferentes componentes del circuito de control y potencia, los mismos fueron ubicados tanto en el tablero de control principal, como en la estructura metálica de las puertas del hangar.

En una fase final, teniendo todos los componentes integrados en el sistema y luego de haber realizado las simulaciones previas con los programas correspondientes, se efectuó las pruebas funcionales del prototipo de apertura y cierre de las puertas del hangar, obteniendo resultados preliminares aceptables, los mismos se fueron mejorando de acuerdo a las observaciones que se tuvieron durante la evaluación del prototipo final

## CONCLUSIONES

Del trabajo realizado, se concluye:

- Se diseñó un sistema automatizado para la apertura y cierre de las puertas del hangar de la Dirección de Aviación Naval, que reduce los daños en las puertas del hangar.
- Se realizó el diagnóstico del sistema actual de la apertura y el cierre manual de las puertas del hangar de la Dirección de Aviación Naval. Mediante encuestas y entrevistas al personal técnico encargado de realizar esta operación en mencionada unidad aeronaval.
- Se desarrolló el diseño de un sistema electromecánico para la apertura y cierre de las puertas del hangar, de acuerdo a las características de la infraestructura. Se seleccionó un sistema de piñón y cremallera impulsado por un motor eléctrico trifásico y su variador de frecuencia para cada puerta, el sistema es controlado por un PLC, también se cuenta con un sistema de detección de obstáculos como medida de seguridad.
- Se elaboró la construcción de un prototipo del sistema de apertura y cierre de las puertas del hangar de la Dirección de Aviación Naval, para verificar la funcionalidad del diseño desarrollado

## CONFLICTO DE INTERES

El autor declara que no tiene conflictos de interés con la presente investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Álvarez Pulido, M. (2004). CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES. ESPAÑA: Marcombo.
- [2]. Apaza Condori, D. (2010). Microcontroladores PIC. LA PAZ - BOLIVIA.
- [3]. García Rodrigo, Javier (2013) Sistemas y circuitos eléctricos. Electricidad y electrónica. Sistemas electrotécnicos y automatizados.
- [4]. Llanos López, María José (2017) Circuitos eléctricos auxiliares.
- [5]. Roldan Vildoria, José. (1989). MOTORES ELECTRÍCOS. Parainfo s.a.
- [6]. Zetina M., A. (2001). ELECTRONICA BASICA. Colombia: Limusa.
- [7]. Shingley (2008), Diseño en Ingeniería Mecánica de Shingley.
- [8]. Vallejos Álvarez, Eduardo E. (1977), Calculo y diseño de un motor de inducción con rotor jaula de ardilla.
- [9]. James W. Nilsson (2005), Circuitos eléctricos.
- [10]. Tojeiro Calaza, German (2001), PROTEUS; simulación de circuitos electrónicos y microcontroladores a través de ejemplos.



**Sergio Eduardo Paredes Mendoza.**

Técnico Superior en Sistemas Electrónicos, egresado de la carrera de Sistemas Electrónicos de la Unidad Académica La Paz de la

Escuela Militar de Ingeniería.