



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA NEUMÁTICO AUTOMATIZADO DE ALMACENAMIENTO/ RECUPERACIÓN (AS/RS) MEDIANTE EL RECONOCIMIENTO DE PRODUCTOS CON CÓDIGOS QR, EN EL LABORATORIO DE NEUTRÓNICA E HIDRÓNICA EN LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA”

**AUTORES: ALMEIDA CEVALLOS, SEBASTIAN ALEJANDRO
GÁLVEZ JÁCOME, BRYAN RAFAEL**

ING. SÁNCHEZ OCAÑA, WILSON EDMUNDO

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



CONTENIDO

- Planteamiento del problema
- Objetivos
- Hipótesis
- Introducción
- Metodología y Materiales
- Diseño Mecánico
- Algoritmos de Programación
- Diseño del Circuito Eléctrico Neumático
- Configuración y Programación
- Diseño de la Interfaz en la Pantalla Kinco
- Pruebas de Funcionamiento del Módulo Didáctico
- Conclusiones
- Recomendaciones



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad la automatización dirigida a sistemas de almacenamiento y recuperación (AS/RS) ha dado un gran paso en los últimos años con ayuda de la tecnología, el error humano está presente en el proceso manual de almacenaje, es por eso que la automatización es viable para que posea la capacidad de recibir información del producto u objeto a almacenar y poder clasificarlos de acuerdo a una información específica, generando un registro histórico para luego poder reutilizarlos.

El laboratorio de Neutrónica e Hidrónica de la carrera en Electromecánica de la ESPE-Latacunga, no dispone de un sistema modular didáctico con esta tecnología, por lo que, existe el desconocimiento de los sistemas de almacenamiento y recuperación de procesos a nivel industrial; con este sistema los estudiantes, docentes y personal técnico del área de investigación podrán familiarizarse y aplicar conocimientos de automatización, neumática e instrumentación controlando y coordinando el proceso de la planta.



OBJETIVOS

Objetivo General:

- Diseñar y construir un módulo didáctico para el almacenamiento/ recuperación (AS/RS) automatizado, mediante el reconocimiento de productos con códigos QR, dentro de una línea de almacenamiento en el laboratorio de Hidrónica y Neutrónica.



Objetivos Específicos:

- Diseñar y analizar los esfuerzos de los componentes de la estructura mecánica mediante el software ANSYS.
- Realizar el montaje de los elementos e instrumentos que constan en el proceso de almacenamiento/recuperación (AS/RS).
- Programar el PLC para el control de sensores y máquina S/R de acuerdo a las condiciones del proceso.



- Implementar un sistema de reconocimiento y clasificación de productos mediante códigos QR.
- Diseñar e implementar un HMI para coordinar y controlar el proceso de (AS/RS).
- Controlar y verificar el funcionamiento del sistema neumático para la distribución y clasificación de productos con códigos QR.



HIPÓTESIS

Con la construcción del sistema neumático automatizado de almacenamiento y recuperación AS/RS, mediante la detección de códigos QR, permitirá fortalecer los conocimientos de sistemas flexibles por parte de los estudiantes, docentes y personal técnico a fin del área de investigación.



- **INTRODUCCIÓN**

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y RECUPERACIÓN AS/RS

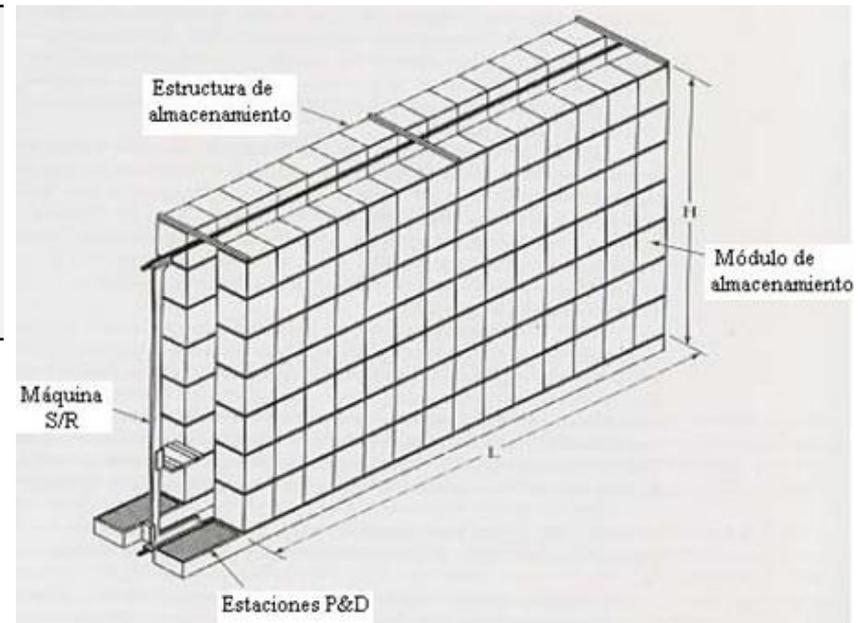
Las siglas AS/RS es un sistema de almacenamiento y recuperación automático, que es controlado y operado a través de una computadora, donde se detallan y establecen las operaciones específicas con una velocidad constante y precisión óptima, cumpliendo con las exigencias en un nivel alto de automatización industrial.



• INTRODUCCIÓN

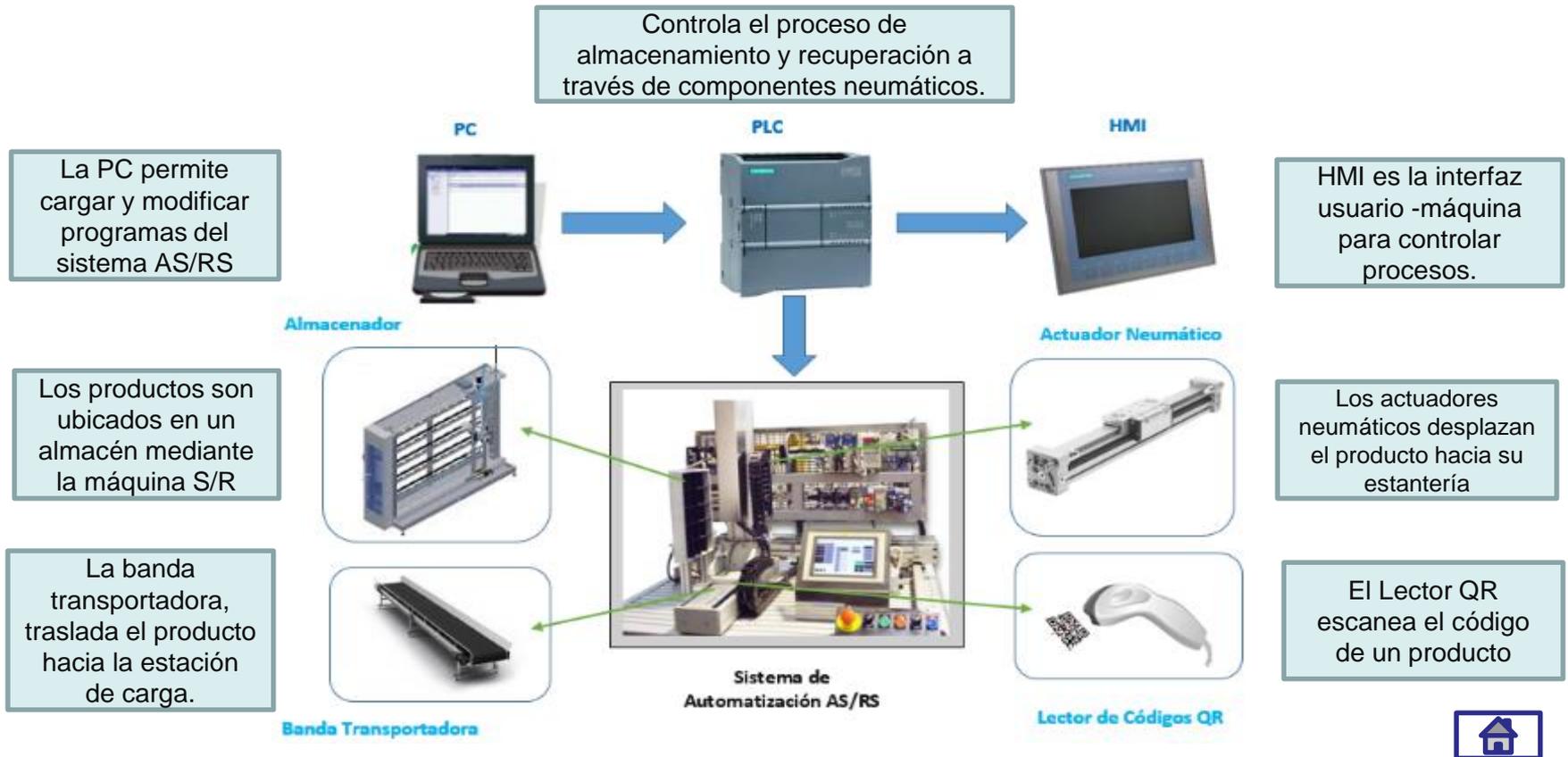
COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA AS/RS

- Estructura de almacenamiento
- Máquina S/R
- Módulos de almacenaje
- Estaciones P&D
- Sistema de control



METODOLOGÍA Y MATERIALES

DESCRIPCIÓN Y PARTES DEL MÓDULO DIDÁCTICO



- METODOLOGÍA Y MATERIALES



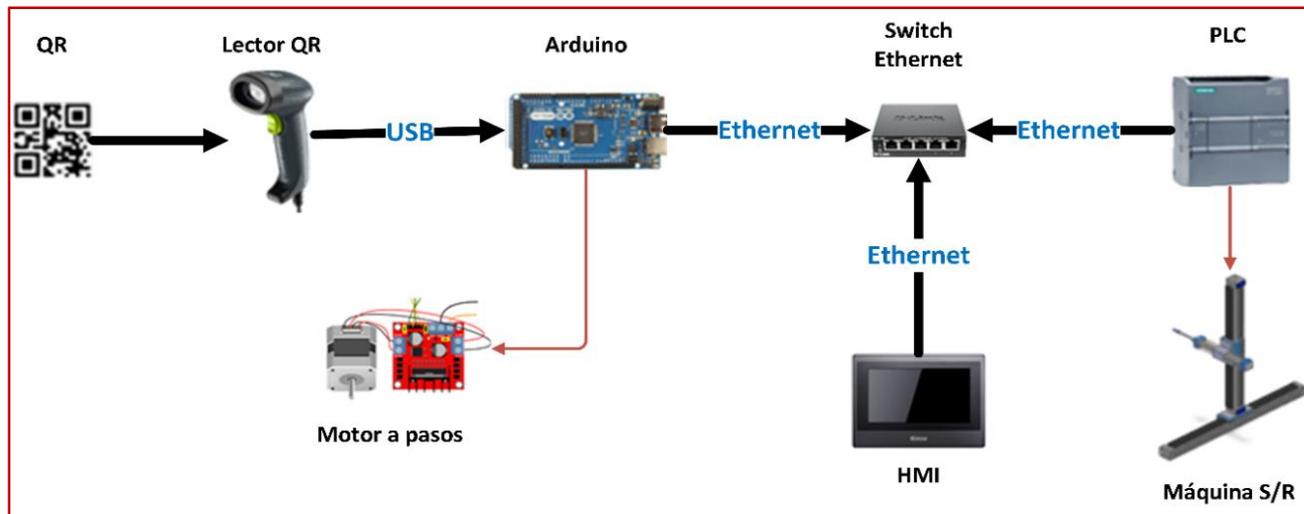
- **METODOLOGÍA Y MATERIALES**



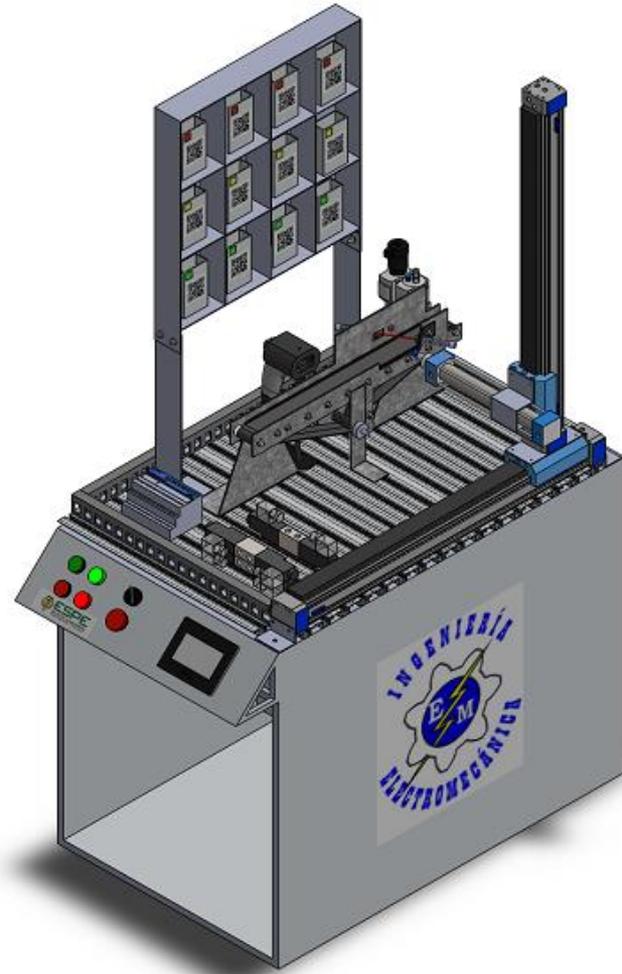
• METODOLOGÍA Y MATERIALES

COMUNICACIÓN PARA EL SISTEMA DE CONTROL DEL PROCESO AS/RS

Se debe establecer una comunicación Ethernet entre el PLC, HMI y Arduino por medio de un equipo Switch Ethernet. Y una comunicación USB entre el Arduino y el lector QR.

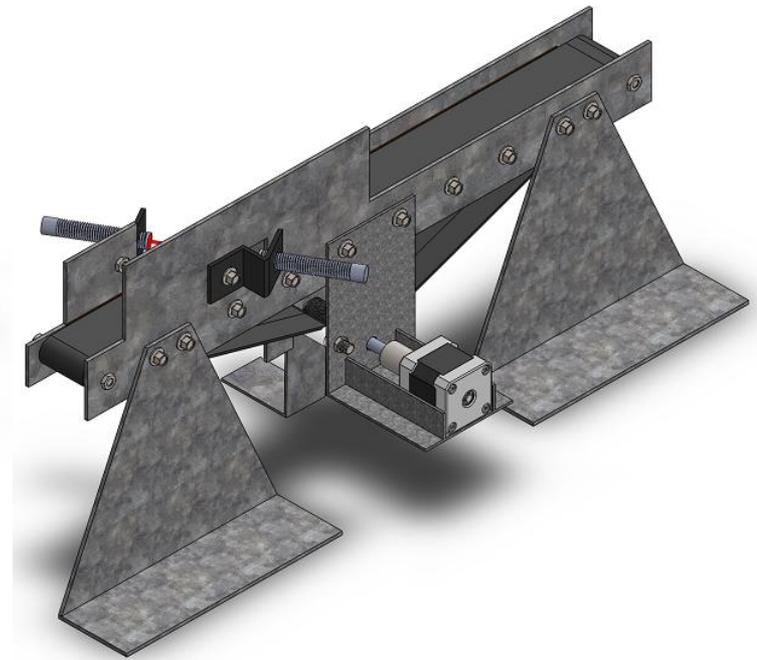
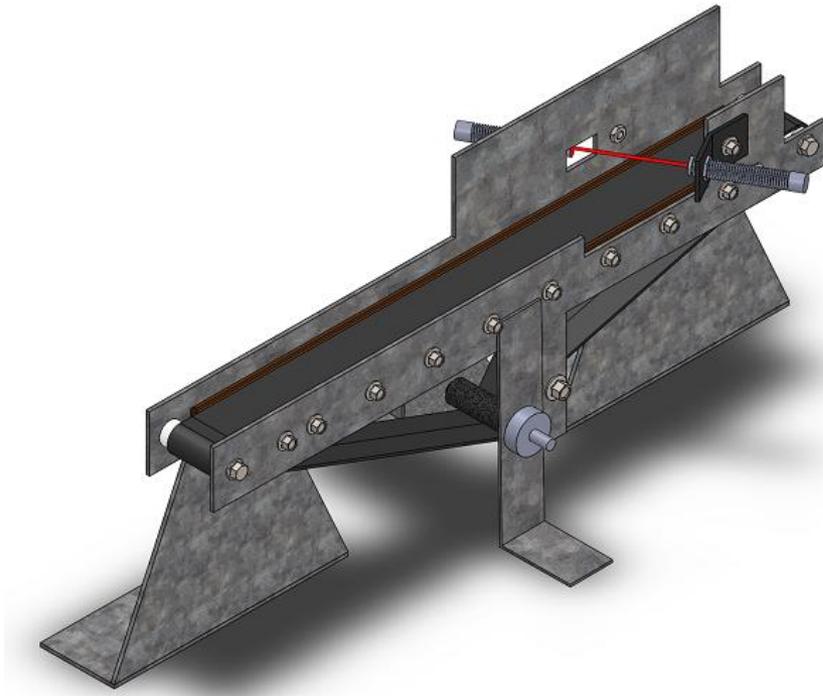


- DISEÑO MECÁNICO



- **DISEÑO MECÁNICO**

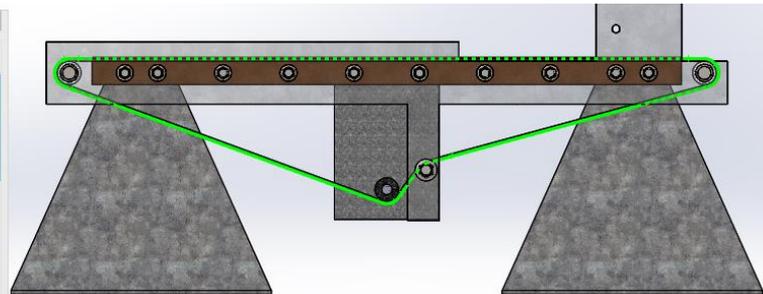
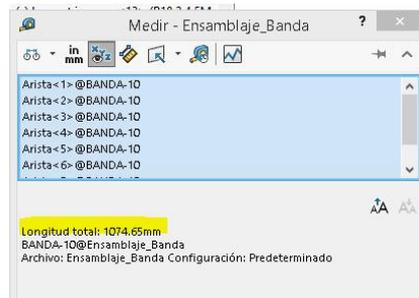
BANDA TRANSPORTADORA



• DISEÑO MECÁNICO

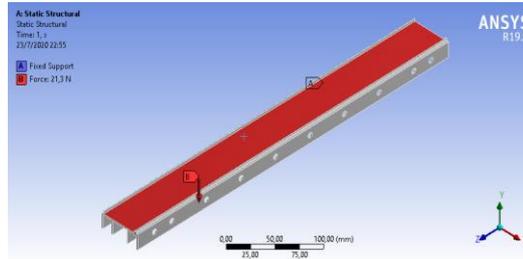
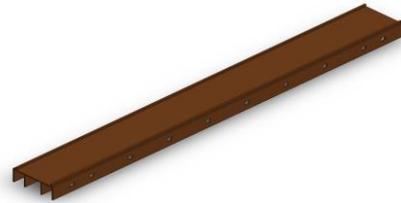
PARÁMETROS DE DISEÑO

- Tipo de material de transporte: Caja de Plástico 100 x 40 x 60 mm
- Velocidad máxima de avance de la banda transportadora: 60 rpm
- Ancho máximo del espacio disponible: 44 mm
- Peso de la cinta: 1.3 kg/m^2



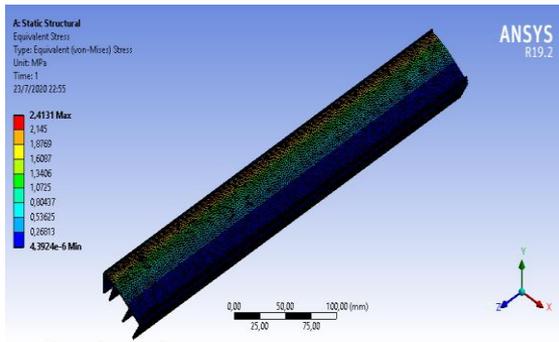
• DISEÑO MECÁNICO

ANÁLISIS DE ESFUERZOS - SOPORTE DE LA BANDA



FUERZA TOTAL

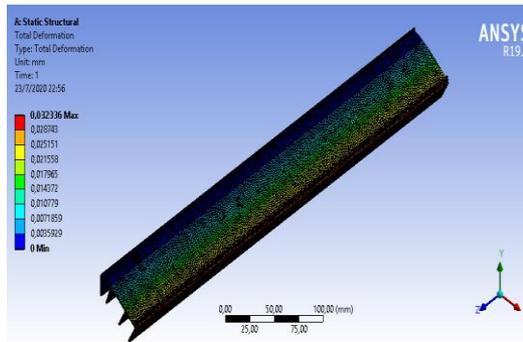
$$F_T = 21.30 \text{ N}$$



ESFUERZO VON MISES

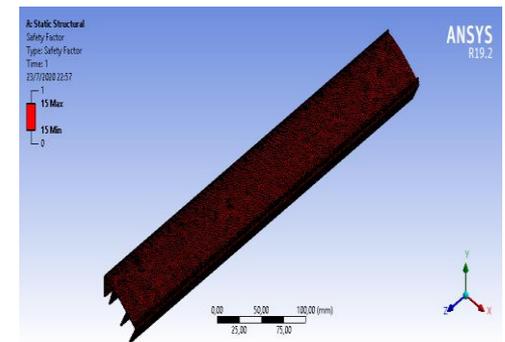
$$\sigma_{real} < \sigma_d = 0,66(145 \text{ MPa})$$

$$2.413 \text{ MPa} < 95.7 \text{ MPa}$$



DEFORMACIÓN

$$\delta r = 0.032336 \text{ mm}$$



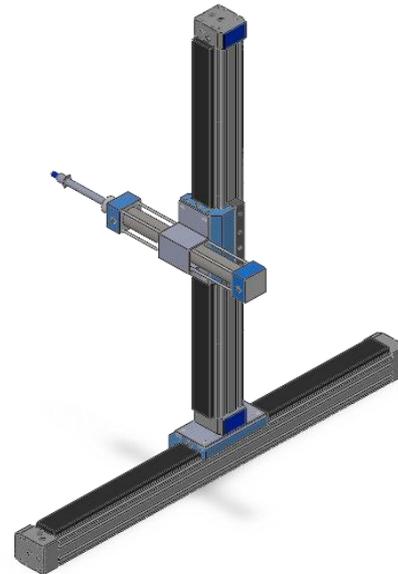
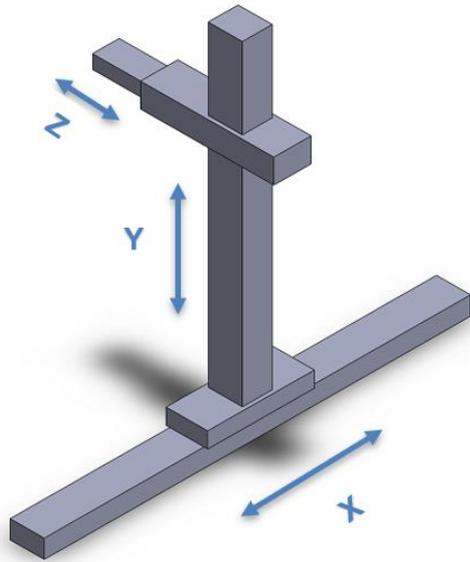
FACTOR DE DISEÑO

$$N = \frac{S_y}{\sigma_d} \quad N = \frac{145 \text{ MPa}}{2.413 \text{ MPa}} \quad N = 60.09$$



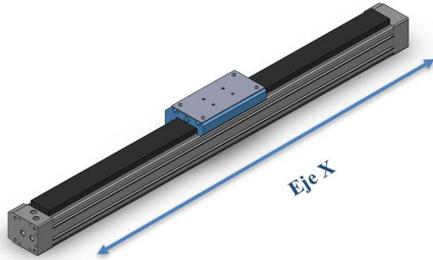
- DISEÑO MECÁNICO

MÁQUINA S/R



• DISEÑO MECÁNICO

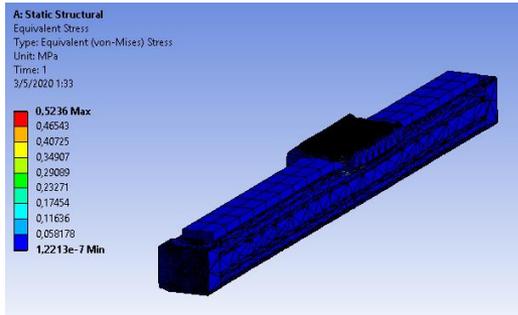
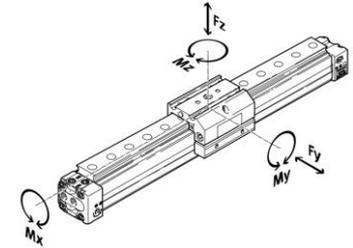
ANÁLISIS DE ESFUERZOS - EJE X DE LA MÁQUINA S/R



FUERZA TOTAL

$$F = 166.99 \text{ N}$$

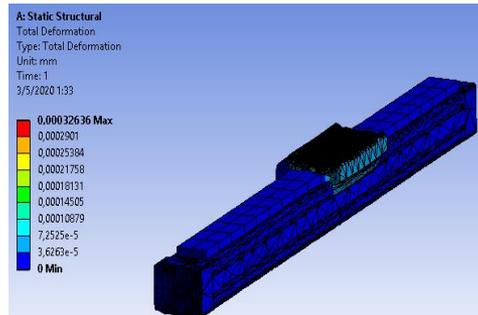
Ejecución	Diámetro del émbolo [mm]	Carrera ²⁾ [mm]	Fuerza teórica con 6 bar [N]	Fuerzas y momentos					
				Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	
Con guía de rodamiento de bolas DGPL-KF									
	18	10 ... 1800	153	930	930	7	23	23	
	25	10 ... 3000	295	3080	3080	45	85	85	
	32	10 ... 3000	483	3080	3080	63	127	127	
	40	10 ... 3000	754	7300	7300	170	330	330	
	50	10 ... 3000	1178	7300	7300	240	460	460	
	63	10 ... 3000	1870	14050	14050	580	910	910	
	80	10 ... 3000	3016	14050	14050	745	1545	1545	



ESFUERZO DE VON MISES

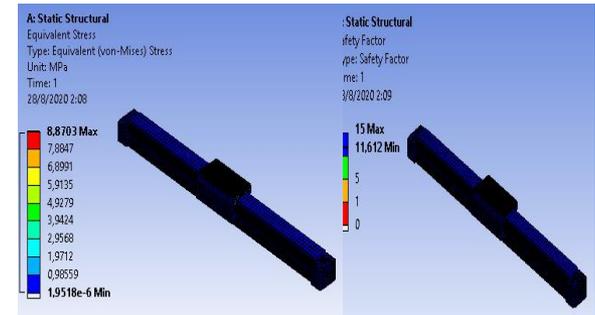
$$\sigma_{real} < \sigma_d = 0.66(103 \text{ MPa})$$

$$0.5236 \text{ MPa} < 67.98 \text{ MPa}$$



DEFORMACIÓN

$$\delta r = 0.00032636 \text{ mm}$$



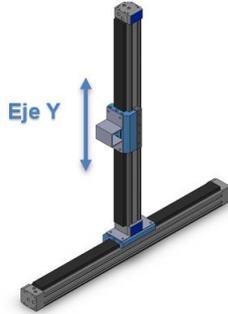
FACTOR DE DISEÑO

$$N = \frac{S_y}{\sigma_d} \quad N = \frac{103 \text{ MPa}}{8.87 \text{ MPa}} \quad N = 11.62$$



• DISEÑO MECÁNICO

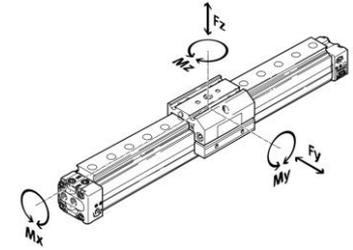
ANÁLISIS DE ESFUERZOS - EJE Y DE LA MÁQUINA S/R



FUERZA TOTAL

$$F = 21,05 \text{ N}$$

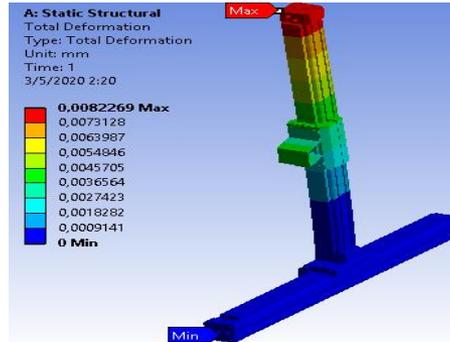
Ejecución	Diámetro del émbolo [mm]	Carrera ¹⁾ [mm]	Fuerza teórica con 6 bar [N]	Fuerzas y momentos				
				Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
Con guía de rodamiento de bolas DGPL-KF								
	18	10 ... 1800	153	930	930	7	23	23
	25	10 ... 3000	295	3080	3080	45	85	85
	32	10 ... 3000	483	3080	3080	63	127	127
	40	10 ... 3000	754	7300	7300	170	330	330
	50	10 ... 3000	1178	7300	7300	240	460	460
	63	10 ... 3000	1870	14050	14050	580	910	910
	80	10 ... 3000	3016	14050	14050	745	1545	1545



ESFUERZO VON MISES

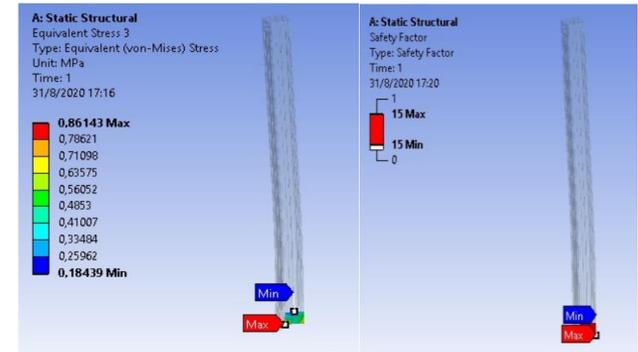
$$\sigma_{real} < \sigma_d = 0.66(103 \text{ MPa})$$

$$0.037 \text{ MPa} < 67.98 \text{ MPa}$$



DEFORMACIÓN

$$\delta r = 0.0082269 \text{ mm}$$



FACTOR DE DISEÑO

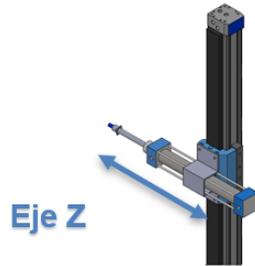
$$N = \frac{S_y}{\sigma_d}$$

$$N = \frac{103 \text{ MPa}}{0.861 \text{ MPa}} \quad N = 119.62$$



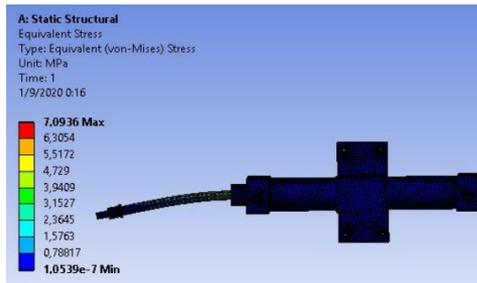
• DISEÑO MECÁNICO

ANÁLISIS DE ESFUERZOS - EJE Z DE LA MÁQUINA S/R



FUERZA TOTAL

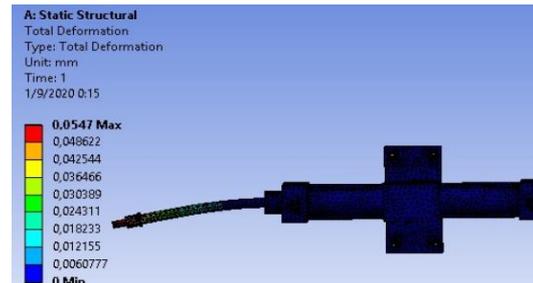
$$F = 6.66 \text{ N}$$



ESFUERZO VON MISES

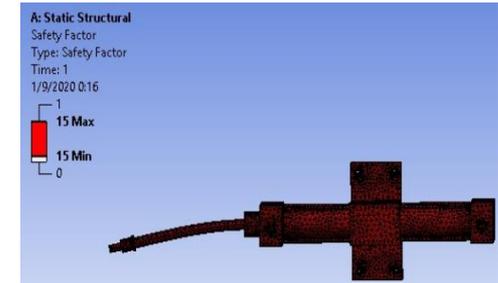
$$\sigma_{real} < \sigma_d = 0.66(207 \text{ MPa})$$

$$7,09 \text{ MPa} < 95.7 \text{ MPa}$$



DEFORMACIÓN

$$\delta r = 0.0547 \text{ mm}$$



FACTOR DE DISEÑO

$$N = \frac{S_y}{\sigma_d} \quad N = \frac{207 \text{ MPa}}{7.09 \text{ MPa}} \quad N = 29.19$$



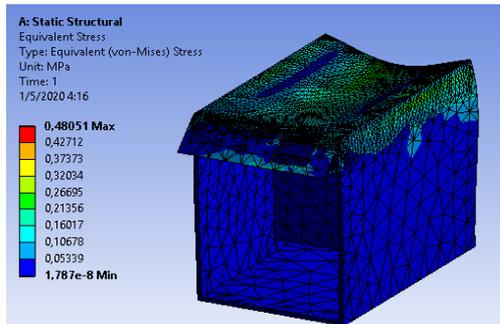
• DISEÑO MECÁNICO

ANÁLISIS DE ESFUERZOS – MESA BASE



FUERZA TOTAL

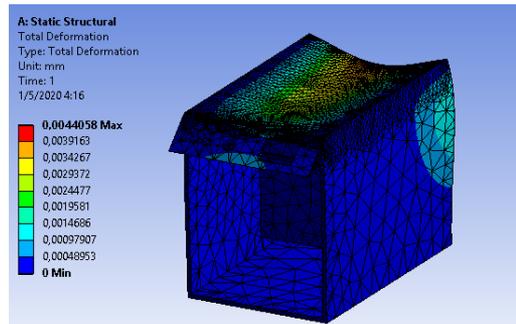
$$F = 263.13 \text{ N}$$



ESFUERZO VON MISES

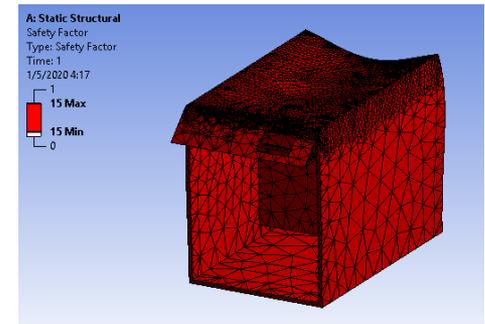
$$\sigma_{real} < \sigma_d = 0.66(145 \text{ MPa})$$

$$0.48051 \text{ MPa} < 165 \text{ MPa}$$



DEFORMACIÓN

$$\delta r = 0.0044058 \text{ mm}$$

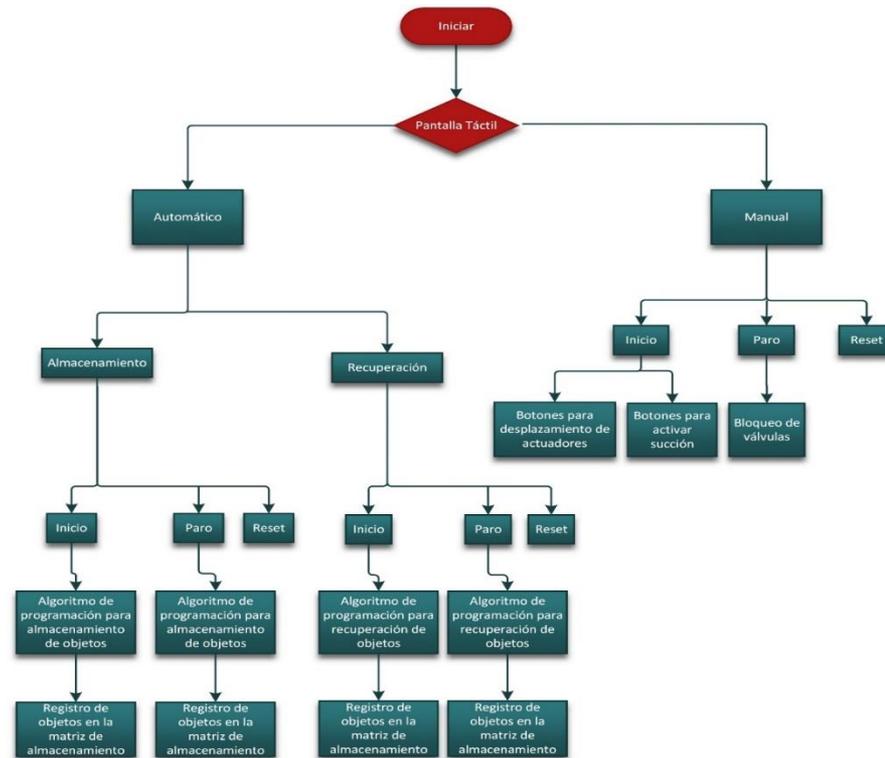


FACTOR DE DISEÑO

$$N > 15$$

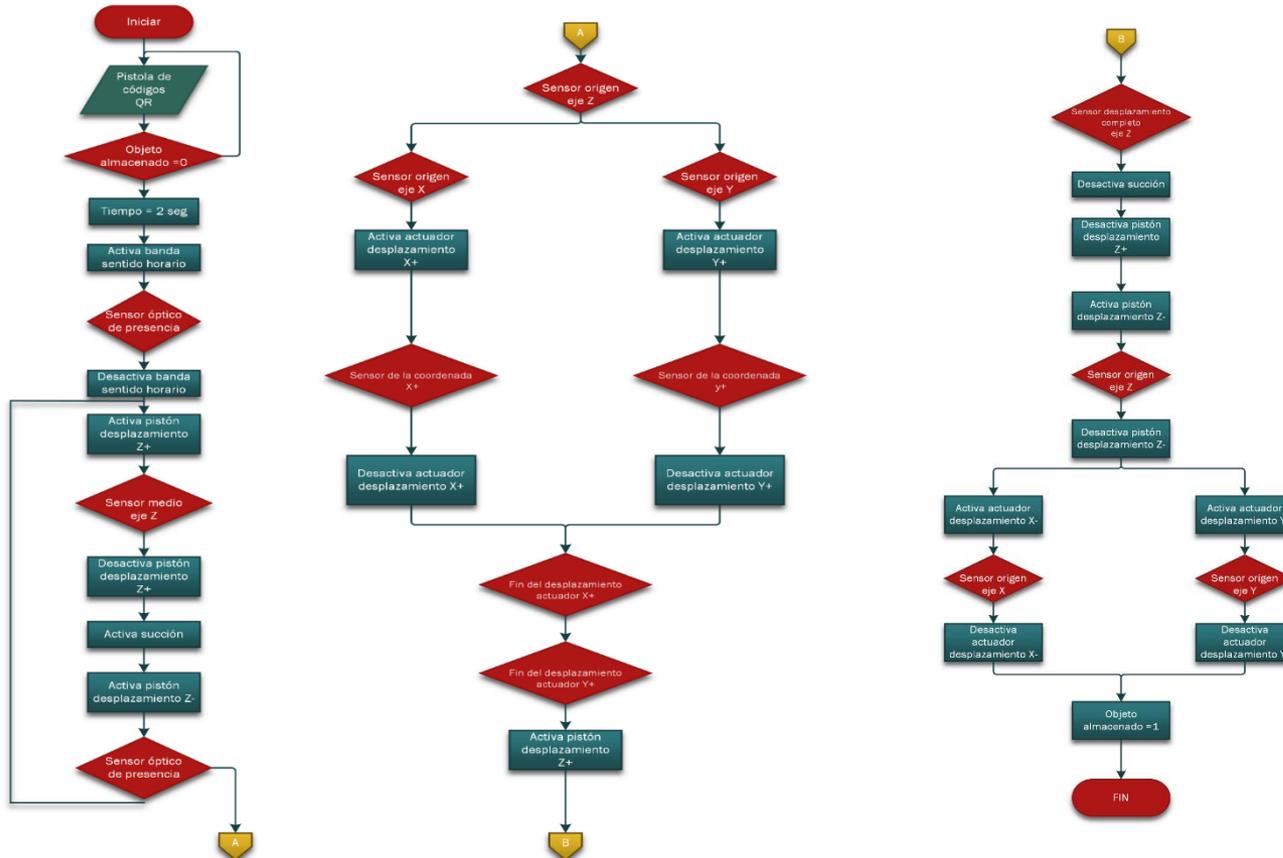


- **ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN**
ALGORITMO DE LA PANTALLA HMI KINCO



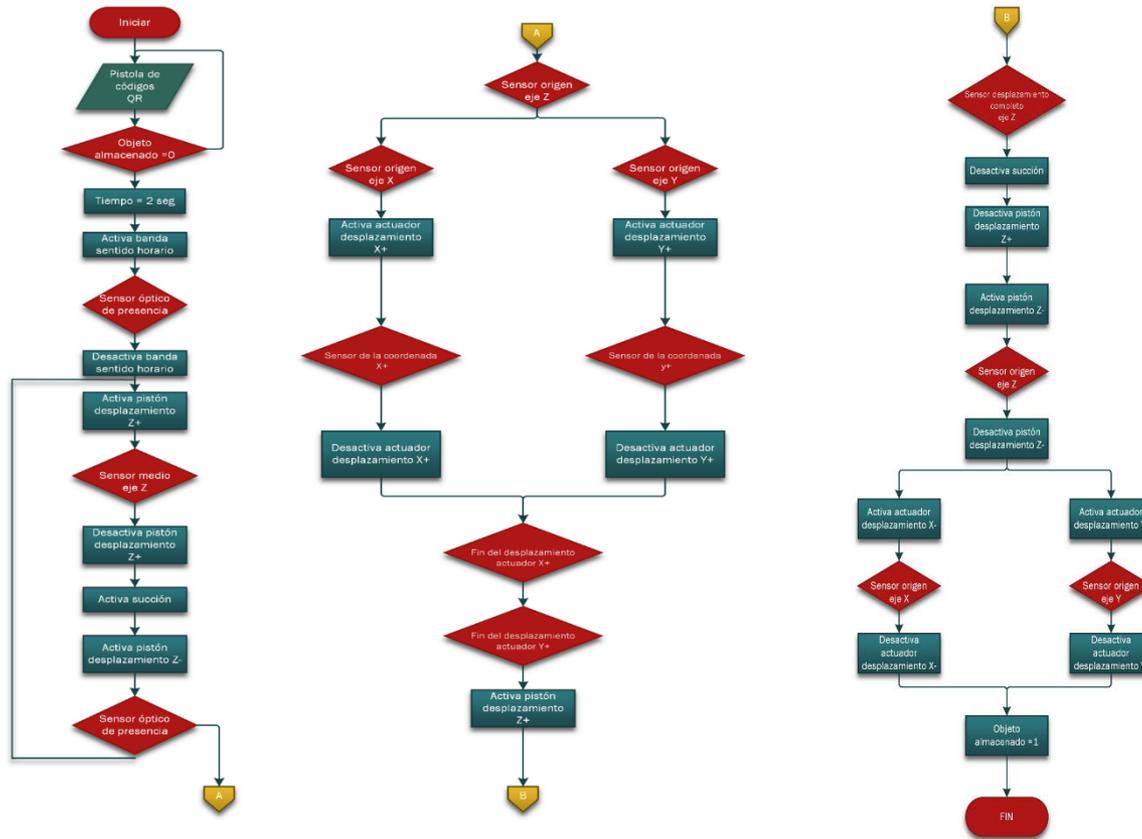
- ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN

ALGORITMO PARA ALMACENAMIENTO DE OBJETOS

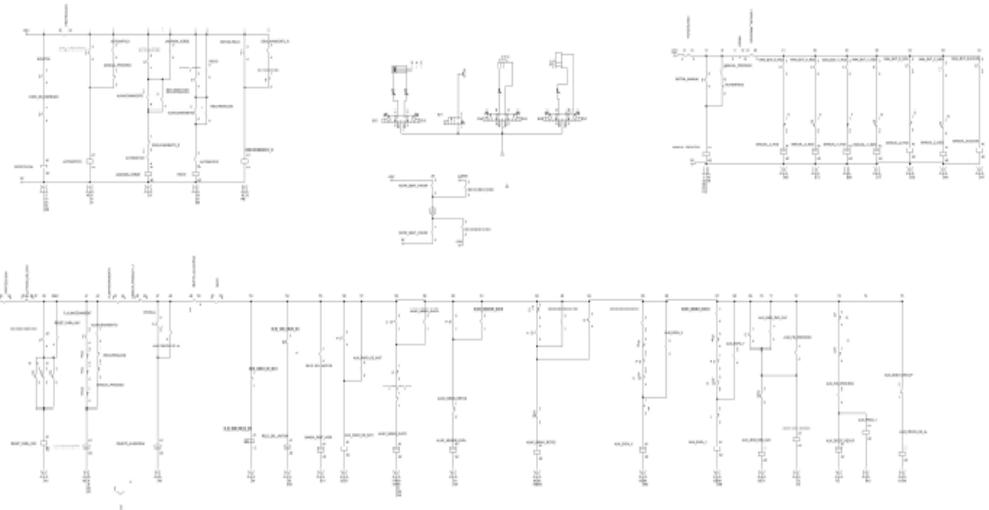
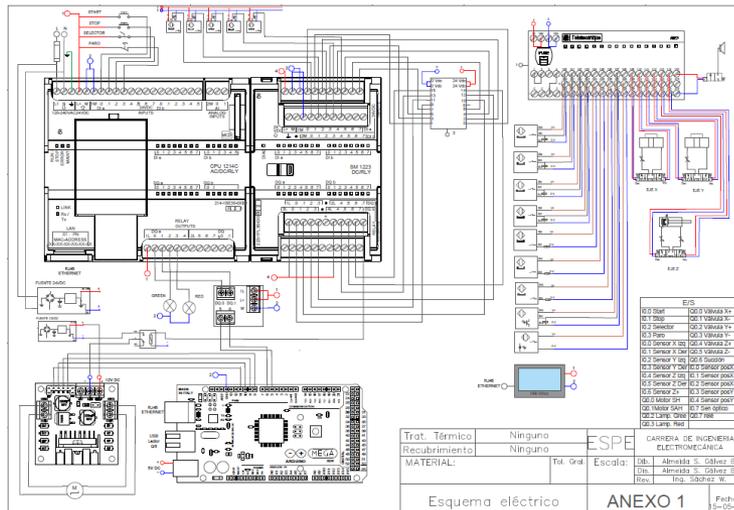


- # ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN

ALGORITMO PARA RECUPERACIÓN DE OBJETOS



• DISEÑO DEL CIRCUITO ELÉCTRICO NEUMÁTICO



ESPE
 UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

• CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN - ARDUINO

Configuración IP Arduino

```
#include <ModbusIP.h>
#include <Modbus.h>
#include <Ethernet.h>
#include <usbhid.h>
#include <usbhub.h>
#include <hiduniversal.h>
#include <hidboot.h>
#include <SPI.h>
#include <Stepper.h>

double dato_modbus;
int valor=0;
int dim=0;
int j=0;
int vector[5]; // Vector para almacenar caracteres o array de 5 valores
const int SENSOR_IREG=100; //Dirección Modbus para el dato del lector QR constante
String datoS; // Variable para guardar el dato del lector QR cadena de caracteres
const int stepsPerRevolution = 200; // número de pasos de su motor

ModbusIP mb;
ulong Tq; // Constante de tiempo
byte mac[]={0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED};
IPAddress ip(192,168,0,40); //Dirección IP del arduino
IPAddress gateway(192,168,0,40); //Direccion gateway la misma del arduino
IPAddress subnet(255, 255, 255, 0); //Mascara de subred
```

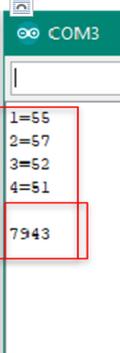
Código QR Escaneado e Impreso en Monitor Serie

```
void MyParser::OnScanFinished() { // libreria para interpretar de forma sencilla la informacion
Serial.println(); //Dispone de funciones para leer números, subcadenas, bus
//Está diseñado para trabajar con un array recibido por u

j=j*1;
// Serial.println(j);

String datoS;
int auxInt;
for(int k=1;k<j;k++){
if(k==1){
auxInt=vector[k]-48;
datoS=String(auxInt);
}else{
auxInt=vector[k]-48;
datoS.concat(String(auxInt));
}
}
Serial.println(datoS);
}

int datoINT=datoS.toInt(); //C convierte el dato de cadena(String) a un entero(Int)
mb.Ireg(SENSOR_IREG,datoINT); //Función mb.Ireg (Dirección de registro, dato a enviar)
Serial.println(datoINT); // Dato impreso en el Monitor Serie
```



Configuración del Motor Paso a Paso Nema 17

```
#include <Stepper.h>
const int stepsPerRevolution = 200; // cambie este valor por el numero de pasos de su motor
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 8,9,10,11); // inicializa la libreria 'stepper' en los pines 8 a 11
int motorpositivo = 5;
int motornegativo = 6;
myStepper.setSpeed(200); // establece la velocidad en 200rpm
Serial.begin(9600); // inicializa el puerto serial
pinMode(motorpositivo,INPUT); // /pin mode entrada
pinMode(motornegativo,INPUT);
}

void loop() { // bucle de programa
  Usb.Task();

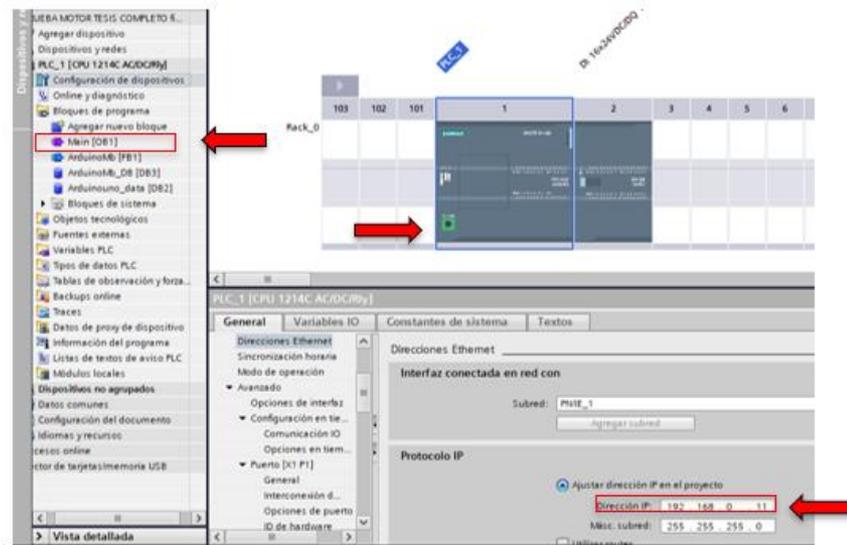
  int motor=digitalRead(motorpositivo); // gira en sentido horario si el pin 5 es activado

  if (motor == HIGH )
  {
    Serial.println("clockwise");
    myStepper.step(stepsPerRevolution);
  }

  int motor1=digitalRead(motornegativo); // gira en sentido anti horario si el pin 6 es activado
  if (motor1 == HIGH )
  {
    Serial.println("counterclockwise");
    myStepper.step(-stepsPerRevolution);
  }
}
```

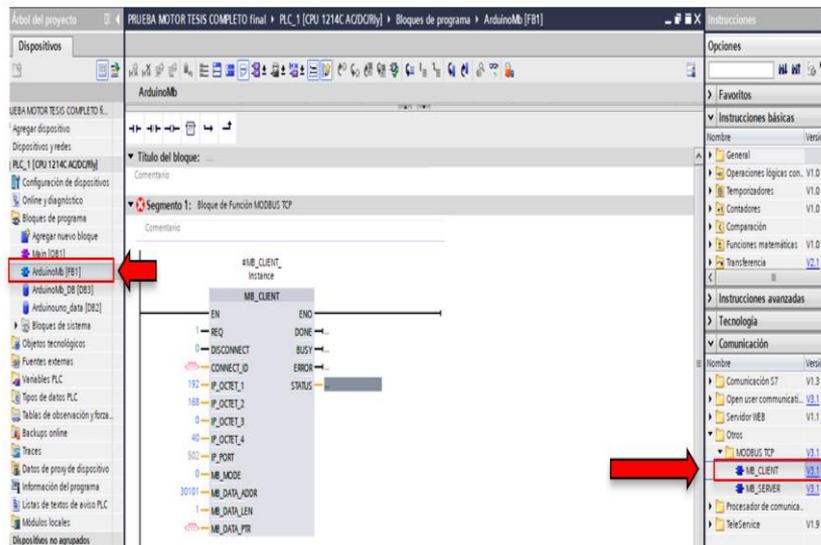


- **CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN – PLC S7 1200**
Configuración IP PLC

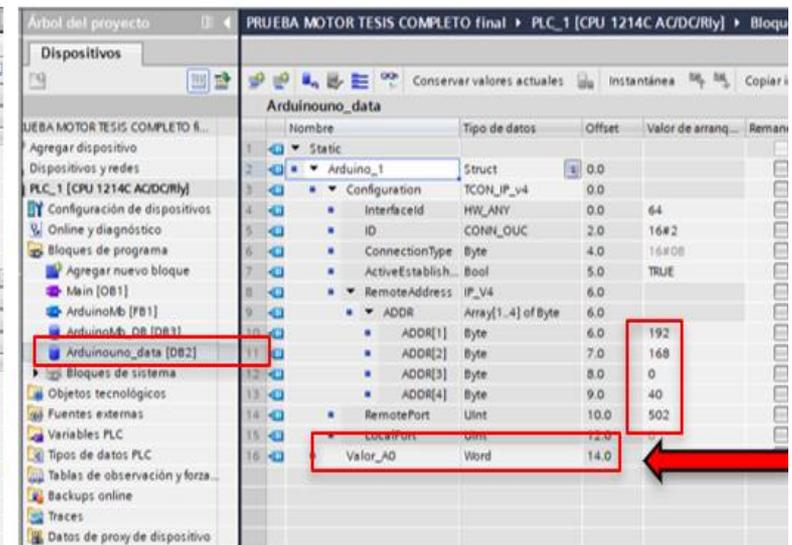


• CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN – PLC S7 1200

Configuración de la Instrucción MB_Client

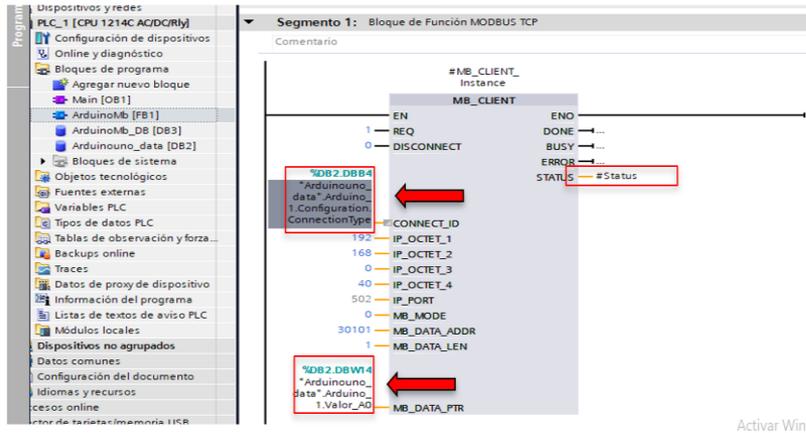


Configuración del Bloque Arduinouno_Data

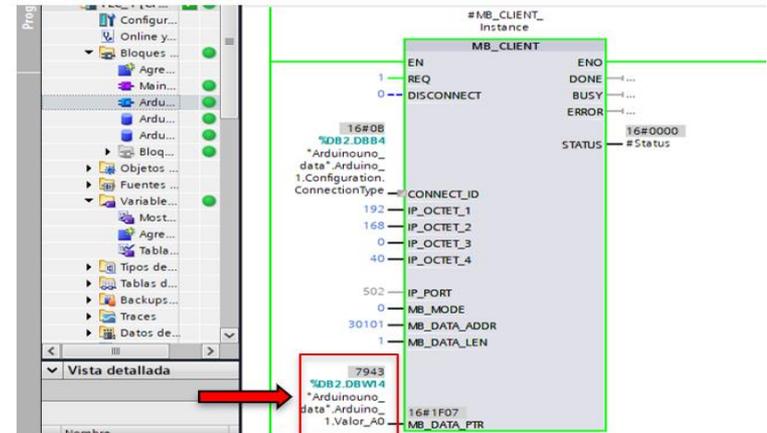


• CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN – PLC S7 1200

Configuración de la Instrucción MB_Client



Comunicación entre Arduino y PLC Mediante MB_Client



Activación de una Salida del PLC Mediante Código QR



- **CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN – PLC S7 1200**
 - **Segmentos de Programación**

The screenshot displays the Siemens SIMATIC Manager software interface for configuring a PLC S7 1200 program. The left sidebar shows the project tree with 'Main [OB1]' selected. The central editor window shows the 'Main' program with the following segments:

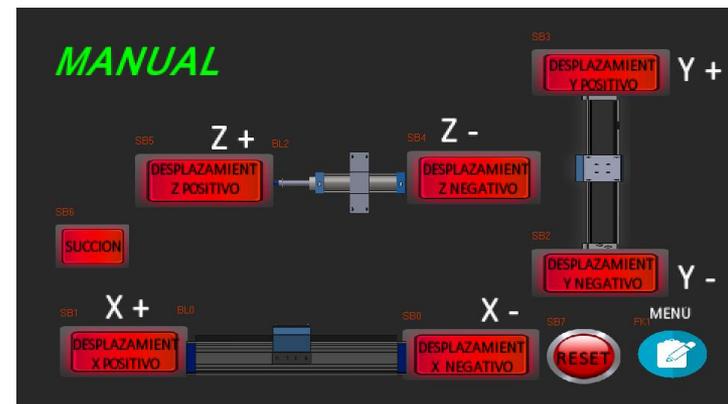
Segmento	Descripción
Segmento 1:	COMUNICACIÓN FUNCIÓN ARDUINO
Segmento 2:	PROTECCIÓN
Segmento 3:	INICIO AUTOMÁTICO
Segmento 4:	INICIO MANUAL
Segmento 5:	PROCESO DE RESETEO
Segmento 6:	GRUPO DE VÁLVULAS Y MOTOR
Segmento 7:	ALMACENAMIENTO OBJETO 1
Segmento 8:	MEMORIA OBJETO 1
Segmento 9:	ALMACENAMIENTO OBJETO 2
Segmento 10:	MEMORIA OBJETO 2
Segmento 11:	ALMACENAMIENTO OBJETO 3
Segmento 12:	MEMORIA OBJETO 3
Segmento 13:	ALMACENAMIENTO OBJETO 4
Segmento 14:	MEMORIA OBJETO 4
Segmento 15:	ALMACENAMIENTO OBJETO 5
Segmento 16:	MEMORIA OBJETO 5
Segmento 17:	ALMACENAMIENTO OBJETO 6
Segmento 18:	MEMORIA OBJETO 6
Segmento 19:	ALMACENAMIENTO OBJETO 7

The right-hand panel shows a detailed list of segments 27 through 46:

Segmento	Descripción
Segmento 27:	ALMACENAMIENTO OBJETO 11
Segmento 28:	MEMORIA OBJETO 11
Segmento 29:	ALMACENAMIENTO OBJETO 12
Segmento 30:	MEMORIA OBJETO 12
Segmento 31:	ALMACENAMIENTO COMPLETO
Segmento 32:	RECUPERACIÓN OBJETO 1
Segmento 33:	RECUPERACIÓN OBJETO 2
Segmento 34:	RECUPERACIÓN OBJETO 3
Segmento 35:	RECUPERACIÓN OBJETO 4
Segmento 36:	RECUPERACIÓN OBJETO 5
Segmento 37:	RECUPERACIÓN OBJETO 6
Segmento 38:	RECUPERACIÓN OBJETO 7
Segmento 39:	RECUPERACIÓN OBJETO 8
Segmento 40:	RECUPERACIÓN OBJETO 9
Segmento 41:	RECUPERACIÓN OBJETO 10
Segmento 42:	RECUPERACIÓN OBJETO 11
Segmento 43:	RECUPERACIÓN OBJETO 12
Segmento 44:	RECUPERACIÓN SIN OBJETOS
Segmento 45:	DESACTIVAR BOTON DE AUTOMATICO Y MENU (ALMACENAMIENTO)
Segmento 46:	DESACTIVAR BOTON DE AUTOMATICO Y MENU (RECUPERACIÓN)



- DISEÑO DE LA INTERFAZ EN PANTALLA KINCO



- **DISEÑO DE LA INTERFAZ EN PANTALLA KINCO**

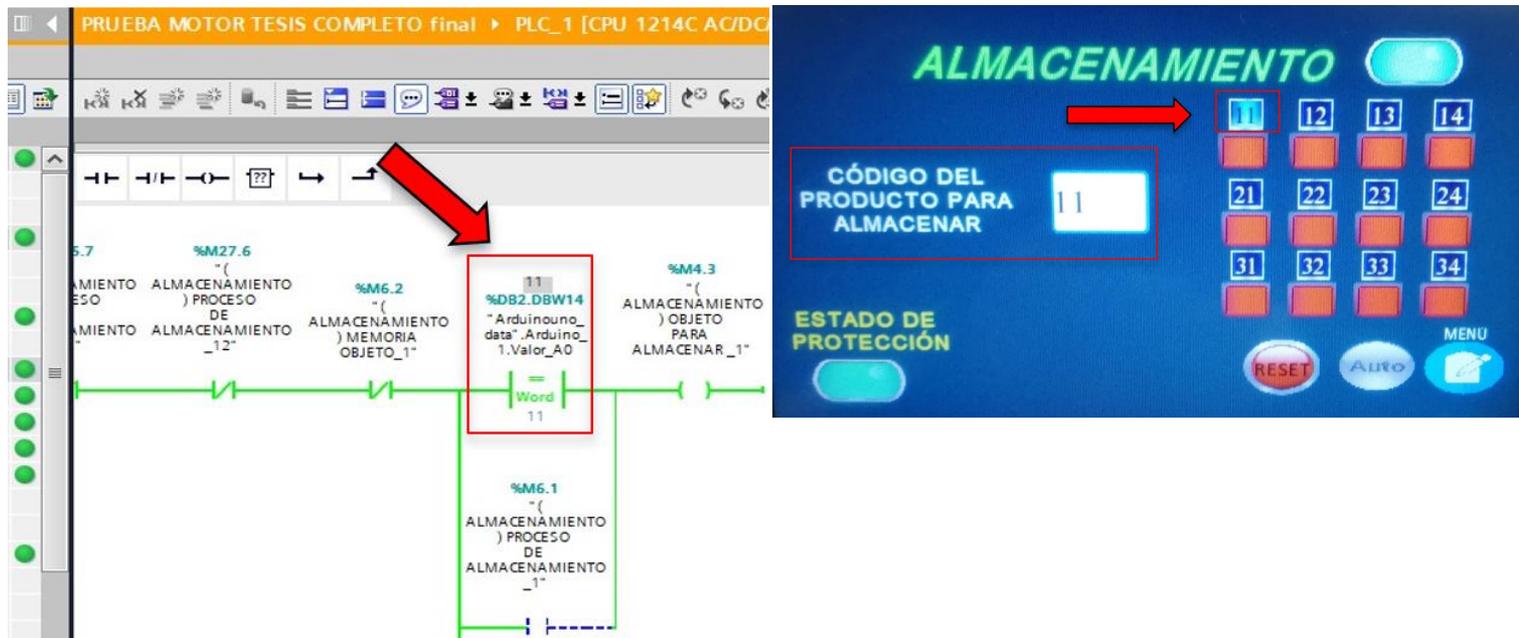


- **CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO NEUMÁTICO**



- PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO DIDÁCTICO

Prueba de Funcionamiento de Programa en Línea



- **PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO DIDÁCTICO**

Pruebas de Presión del Sistema para Tiempo Óptimo

Presión del sistema	Apertura de válvulas estranguladoras	Tiempo de Almacenamiento	Tiempo de Recuperación
0.5 bar	30-40 %	11.81 <u>seg</u>	19.30 <u>seg</u>
1 bar	30-40 %	8.36 <u>seg</u>	15.64 <u>seg</u>
3 bares	30-40 %	7.08 <u>seg</u>	14.22 <u>seg</u>
4 bares	30-40 %	5.32 <u>seg</u>	12.69 <u>seg</u>

Para las pruebas neumáticas, la presión en el sistema debe ser constante a 1 bar y la apertura de las válvulas aguja tienen que estar en un rango del 30 % - 40 %, a fin de que el desplazamiento en los actuadores sea más fluido, obteniendo un tiempo óptimo.



- **PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO DIDÁCTICO**

Pruebas de Recepción de Datos Mediante el Lector QR

Código QR	Datos numéricos	Tiempo de recepción	Observación
1234	4 cifras	1.66 <u>seg</u>	Incorrecto
123	3 cifras	1.25 <u>seg</u>	Incorrecto
12	2 cifras	1.17 <u>seg</u>	Correcto
1	1 cifra	1.07 <u>seg</u>	Incorrecto

El tiempo de recepción del dato codificado es de 1.17 segundos, desde el lector QR hacia la pantalla HMI, siendo el valor de dos cifras el que presenta menos conflictos de emisión y recepción de datos. Hay que tener en cuenta la versión del Firmware del PLC, debido a que la comunicación es ineficiente en tiempos de respuesta con otros periféricos, cuando la versión es menor a V4.0.



CONCLUSIONES

- En base a los objetivos planteados, la información y los resultados obtenidos durante el trabajo investigativo se plantean las siguientes conclusiones:
- Se desarrolló satisfactoriamente el diseño mecánico del módulo didáctico, empleando el método analítico, especialmente, en el diseño de la máquina S/R, en donde se analizó el diagrama de cuerpo libre para determinar el momento flector máximo, así como, la identificación del módulo de la sección de cada componente. Con estos dos valores establecidos, se calculó el esfuerzo real a la que está sometido cada componente de la máquina S/R. Para corroborar los cálculos de esfuerzos, se realizó un análisis en el software ANSYS, garantizando de esta manera, que los componentes sean seguros durante su funcionamiento.
- En base a los conocimientos adquiridos, se logró comprender el funcionamiento, usos y aplicaciones de los sistemas (AS/RS), para lo cual, se realizó el montaje de los componentes eléctricos, neumáticos y mecánicos que forman parte del proceso para el almacenamiento y recuperación de productos con códigos QR, sin mayores contratiempos.



- De acuerdo a los algoritmos realizados de almacenamiento y recuperación, se implementó la programación en el software TIAPORTAL, logrando la automatización de este proceso, a través de la implementación del lector óptico, sensores y actuadores, de esta manera, se obtuvo varios beneficios en el campo de la logística para el almacenamiento y recuperación de productos como son: la confiabilidad, agilidad, reducción de tiempos, entre otros.
- Mediante la programación y comunicación de los dispositivos que forman parte del reconocimiento de códigos QR, se desarrolló un sistema que permite interpretar la información que contiene el código, el cual, ordena a los actuadores que realicen la clasificación del producto y procedan a ubicar en sus respectivos espacios asignado en la estantería, además, se incorporó un espacio de memoria para cada objeto con el fin de saber que estos se hallan correctamente almacenados.
- Con el fin de lograr la comunicación con el usuario de este proceso en tiempo real, se implementó una pantalla HMI, misma que, cuenta con funciones que permiten controlar la máquina SR, la representación visual de los productos almacenados, así como, el monitoreo de las variables de entrada y salida.
- Finalmente, luego de realizadas las diferentes pruebas, ajustes y calibraciones se logró controlar y verificar el funcionamiento del sistema neumático para la distribución y clasificación de productos con códigos QR de una manera satisfactoria.



RECOMENDACIONES

- Es primordial tensar la cinta cuando se estén montando los rodillos de la banda transportadora, ya que, se necesita tener una mayor superficie de contacto para que exista fricción.
- Al momento de escanear, se recomienda que el código este en la zona de visualización del lector QR y la lectura se lo realice uno a la vez, a fin de no saturar el sistema de lectura.
- Trabajar a una presión constante de 1 bar para todo el sistema neumático y regular la apertura de las válvulas aguja para obtener una velocidad adecuada en el desplazamiento de la máquina S/R.
- Durante el funcionamiento de la máquina S/R, verificar que no existan elementos en su trayectoria, porque pueden ocasionar colisiones o daños durante el proceso.



- Cuando se vaya a realizar un proceso de almacenamiento y recuperación se debe revisar que la máquina S/R esté situada en su origen, ya que, es uno de los requerimientos para inicializar el proceso.
- Considerar que la fuerza de aspiración sea de 5 bares en la ventosa, capaz de sujetar los productos destinados para el almacenamiento y recuperación.
- Se recomienda la utilización del presente módulo didáctico para: estimular la incorporación de nuevas tecnologías para un mejor control en la posición de los actuadores, fortalecer los conocimientos y generar el análisis e iniciativas de los estudiantes a fines a esta área de investigación.





*Cuando concluimos una tarea de manera exitosa,
el entusiasmo y la energía por el esfuerzo realizado
se convierte en motivación y autorrespeto.*

Miguel Ángel Cornejo



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

