



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA FLEXIBLE DE ALMACENAMIENTO / RECUPERACIÓN (AS /RS) AUTOMATIZADO MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL RECONOCIMIENTO DIMENSIONAL DE MÓDULOS DE ALMACENAMIENTO Y OPTIMIZACIÓN DE ESPACIOS, PARA EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA EN LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”

Autores:

Cárdenas Rubio, Jhostin Patricio
Díaz Quinga, Jonnathan Raúl

Director:

Msc. Andrés Marcelo Gordón Garcés



CONTENIDO DE LA PRESENTACIÓN

RESUMEN

GENERALIDADES

OBJETIVOS

MARCO TEÓRICO

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

RESUMEN

El trabajo de titulación tiene como objetivo diseñar e implementar un prototipo de sistema de almacenamiento y recuperación AS/RS automatizado mediante visión artificial para reconocimiento dimensional de módulos de almacenamiento dependiendo de las dimensiones de los objetos a guardar en el mismo.

Para el proceso de visión artificial se utilizó la biblioteca de OpenCV mediante el IDE multi plataforma programado en C++ QtCreator, para programar y unir el control del manipulador, proceso de visión artificial, procesamiento y registro de datos e interfaz gráfica. El sistema AS/RS implementado tiene el objetivo almacenar objetos con diferentes dimensiones, colores (con excepción del color negro) y formas, clasificando los mismos únicamente por su dimensión con la premisa de optimizar espacios.

GENERALIDADES

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La automatización dirigida a sistemas de almacenamiento y recuperación es un tema que se encuentra en auge en la industria a nivel mundial, esta tecnología es aplicada principalmente en empresas con gran capacidad económica por el costo que implica su adquisición.

En el laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga se presenta la necesidad de contar con un sistema de almacenamiento y recuperación AS/RS que se adapte a los requerimientos de optimización y flexibilidad de espacios para formar parte de la nueva celda de manufactura a implementarse, para prácticas académicas del alumnado.

ANTECEDENTES

Centro Tecnológico de
Automatización Industrial
CTAI (Colombia)

- Visión artificial
- Cuenta con un inventario.
- Espacios de almacenamiento de una misma dimensión.

Universidad de las Fuerzas
Armadas ESPE Extensión
Latacunga (Ecuador)

- Visión Artificial
- Detecta un objeto y lo almacena.
- Espacios de almacenamiento de una misma dimensión.

JUSTIFICACIÓN

Un AS/RS es necesario para realizar prácticas en el laboratorio de Mecatrónica.

Los AS/RS actualmente son muy utilizados en las cadenas de manufactura.

Debido a la extensa gama de tecnologías de prototipado es necesario contar con un sistema de almacenamiento flexible dimensionalmente.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un prototipo de sistema flexible de almacenamiento recuperación (AS /RS) automatizado mediante visión artificial para el reconocimiento dimensional de módulos de almacenamiento y optimización de espacios, para el Laboratorio de Mecatrónica en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS



Investigar sistemas AS/RS



Implementar sistema de visión artificial



Diseñar e implementar estructura y manipulador



Implementar un sistema eléctrico y de control



Sistema de registro de datos




Diseñar e implementar un panel de control



Pruebas de funcionamiento

HIPÓTESIS

¿El diseño e implementación de un prototipo de sistema flexible de almacenamiento/recuperación AS/RS automatizado mediante visión artificial, permitirá la selección de módulos de almacenamiento mediante el reconocimiento dimensional de objetos y la optimización de espacios en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga?

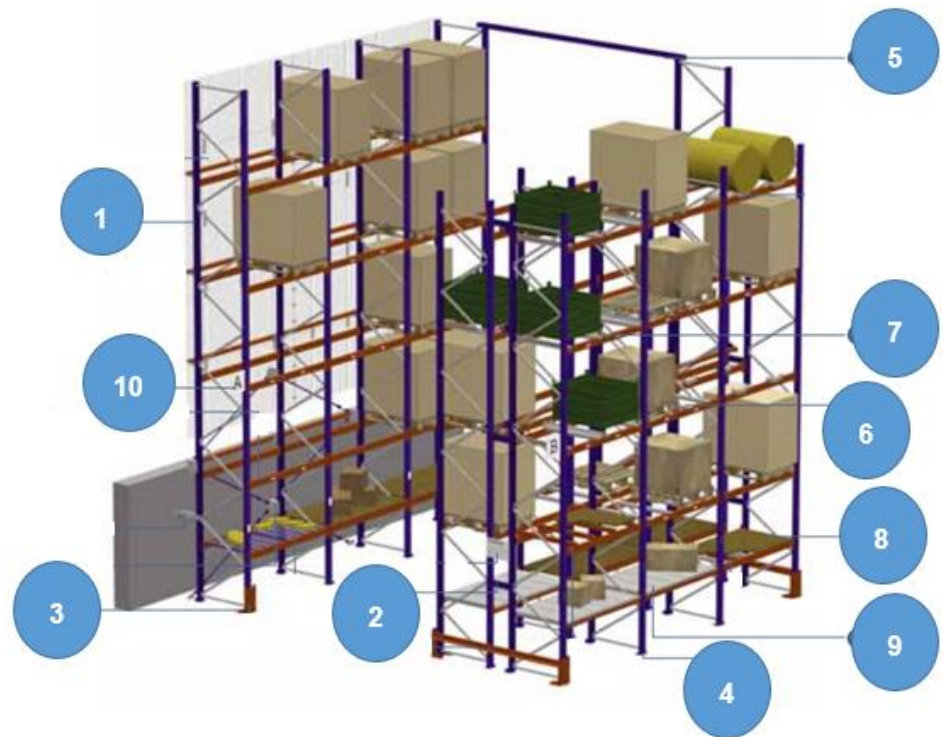


MARCO TEÓRICO

ALMACENAMIENTO CONVENCIONAL

Permiten el acceso sistematizado y ordenado a una unidad de carga con un producto específico en las mismas.

- 1) Bastidores
- 2) Uniones
- 3) Anclajes
- 4) Placas de nivelación
- 5) Unión del pórtico
- 6) Travesaños
- 7) Soporte del contenedor
- 8) Estantes
- 9) Paneles
- 10) Señalización



MARCO TEÓRICO

FUNCIONES DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

- Regular los flujos entre la oferta (fabricación) y la demanda (clientes)
- Optimizar los costes de distribución
- Ahorro del espacio disponible

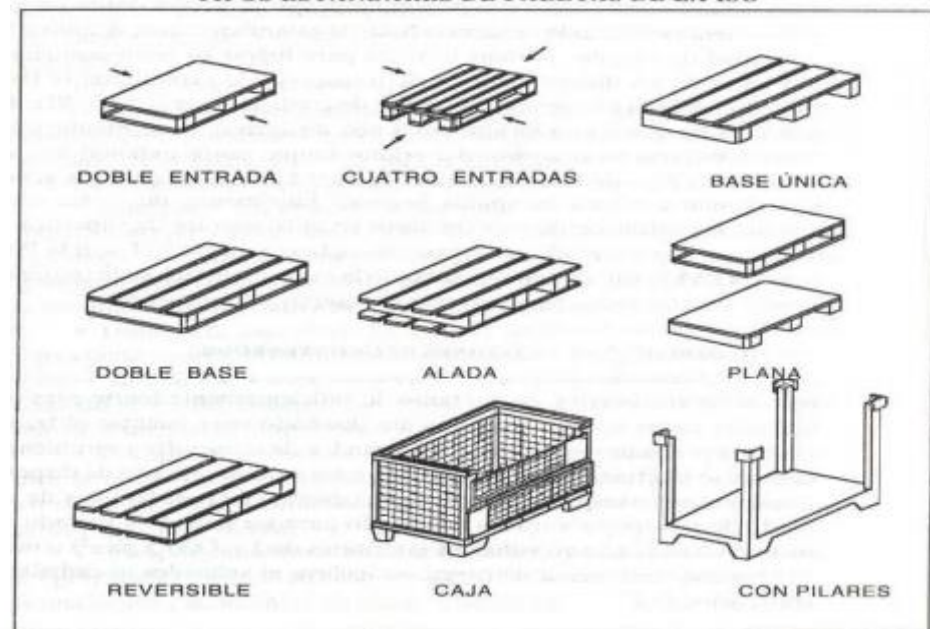
MARCO TEÓRICO

SOPORTES PARA CARGAS

Son elementos en los cuales reposan los objetos durante el proceso de almacenaje y recuperación

PALETAS (*PALLETS*)

Recomendaciones para el diseño de paletas según la norma ISO 445:1965



MARCO TEÓRICO

VISIÓN ARTIFICIAL

El procedimiento de adquisición de imágenes, sin contacto y mediante sistemas ópticos, donde se realiza el análisis automático de las mismas, además es el método para extraer la información necesaria para controlar un proceso o actividad

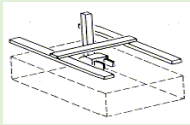
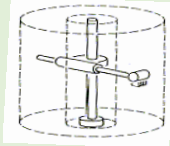
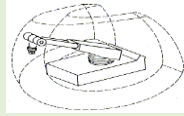
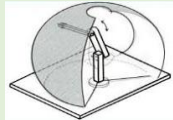


MARCO TEÓRICO

PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

Etapas del Procesamiento de Imágenes	
Captura	Desarrollo de las propiedades de la captura, por ejemplo el tipo de sensor, distancia, número de píxeles.
Pre-Procesamiento	Establecer el entorno que no es parte del problema, por ejemplo el fondo de la imagen, ruido, etc.
Segmentación	Reconocer y extraer objetos presentes en la imagen
Extracción de Características	Extraer características relevantes para la identificación de los objetos deseados.
Identificación de Objetos	Utilizar un método de toma de decisiones para categorizar al objeto.

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE ROBOTS

Característica	Cartesiano	Cilíndrico	Polar o Esférico	Angular o Antropomórfico
Volumen de trabajo (Gráfico)				
Volumen de trabajo (Matemático)	L^3	$9L^3$	$29L^3$	$33L^3$
Capacidad de Carga	Independiente de la configuración	Independiente de la configuración	Dependiente de la configuración	Dependiente de la configuración
Precisión y Resolución	Constantes en el volumen de trabajo	Variables en el volumen de trabajo	Variables en el volumen de trabajo	Variables en el volumen de trabajo.
Aplicaciones	Paletizado	Carga y Descarga	Soldadura, montaje, carga y descarga	Todas las anteriores
Geometría para el sistema de control	Sencilla	Compleja	Compleja	Compleja

MARCO TEÓRICO

MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO



TRANSMISIÓN POR BANDAS

- Bajo ruido en el funcionamiento
- No necesita lubricación.
- A tensiones muy altas la banda puede romperse o salirse de la polea.
- Adicionalmente necesita elementos especiales de tensión.



TRANSMISIÓN POR CADENAS

- Transmite potencia a grandes distancias.
- Longitudes variables, mediante la adición o eliminación de eslabones.
- Necesita Lubricación.
- Elevado costo tanto de implementación como de mantenimiento.



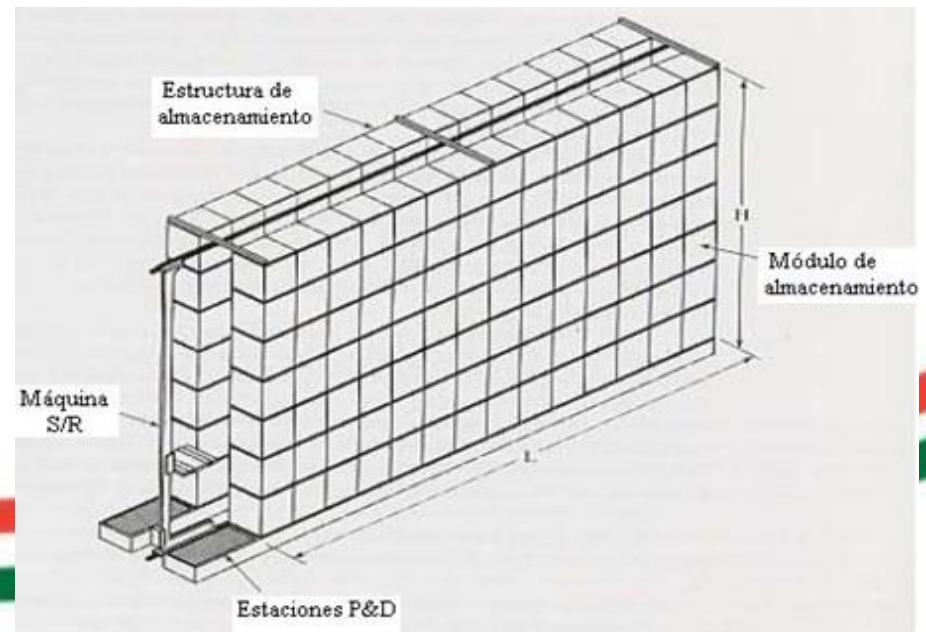
POR HUSILLOS DE POTENCIA

- Transmite altas potencias.
- Facilidad para realizar el diseño.
- Alta precisión y exactitud.
- Evita el efecto deslizamiento, a no ser que se ocupen husillos de bolas.
- Fabricación de componentes con gran exactitud.

MARCO TEÓRICO

SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE ALMACENAMIENTO Y RECUPERACIÓN (AS/RS)

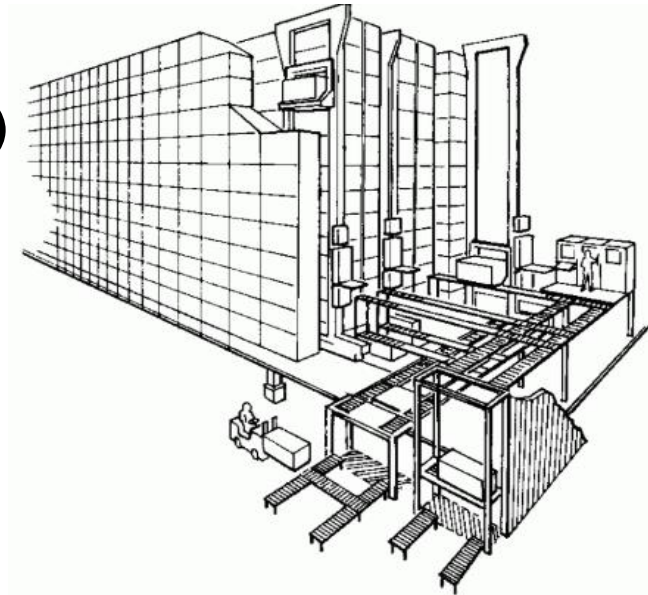
Básicamente es una estructura que consiste en un sistema de estanterías, que son organizados por pasillos, por donde se traslada un mecanismo automatizado, el cual es capaz de extraer y depositar cargas, conocido también como S/R por sus siglas en inglés *Storage and Retrieval*.



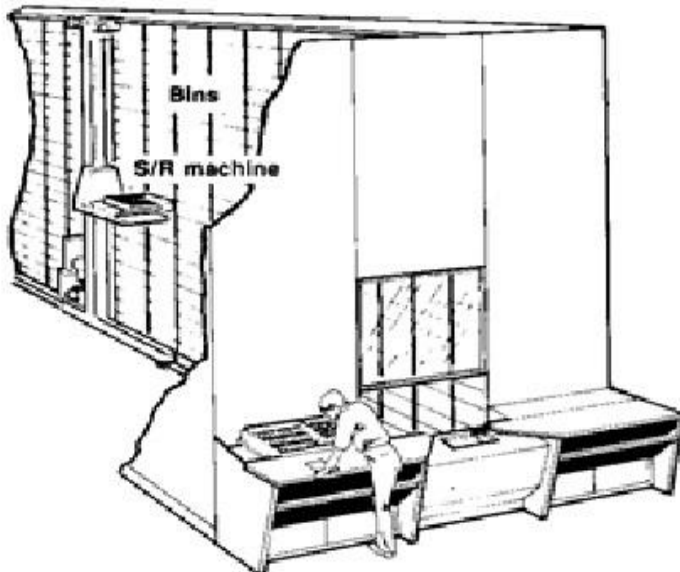
MARCO TEÓRICO

TIPOS DE AS/RS

Unit Load AS/RS (AS/RS de Unidad de Carga)



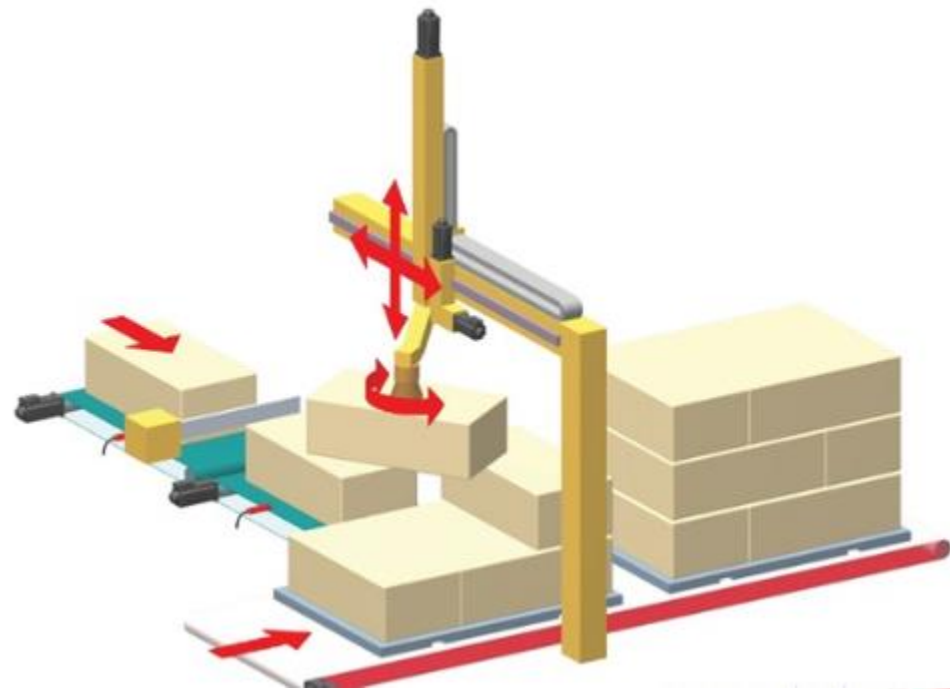
Miniload AS/RS (AS/RS de Mini carga)



DISEÑO Y SELECCIÓN

Selección del tipo de configuración morfológica del Robot

Robot de tipo cartesiano



DISEÑO Y SELECCIÓN

Selección del tipo de transmisión de movimiento

Tomando en cuenta las necesidades del sistema AS/RS para el Laboratorio de Mecatrónica se implementará la transmisión por husillo de potencia, pues el presente proyecto requiere de precisión, exactitud y simplicidad en el montaje del sistema de transmisión.

DISEÑO Y SELECCIÓN

Selección de componentes para el sistema de transmisión

Datos

$$m_{ObjetoMax} = 3.45 \text{ Kg}$$

$$m_{PalletMax} = 0.204 \text{ Kg}$$

$$m_{EjeZ} = 6.5 \text{ Kg}$$

Dimensiones de los husillos que transmitirán movimiento.

$$husillo_X = 1200 \text{ mm}$$

$$husillo_Y = 1000 \text{ mm}$$

DISEÑO Y SELECCIÓN

Selección de componentes para el sistema de transmisión

Dimensiones de los husillos que transmitirán movimiento.

$$\text{husillo}_X = 1200 \text{ mm}$$

$$\text{husillo}_Y = 1000 \text{ mm}$$

Diámetros de husillos

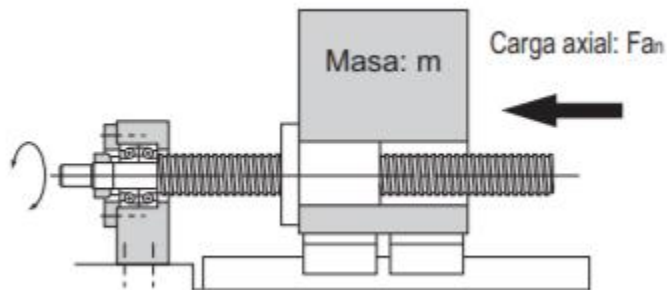
Diámetro exterior del husillo	Longitud total del husillo		
	C7	C8	C10
10 a 12	500	1000	--
14 a 15	1500	1500	1500
16 a 18	1500	1800	1800
20	2000	2200	2200

Fuente: (Husillo de Bolas Catálogo General THK, 2018)

DISEÑO Y SELECCIÓN

Selección de componentes para el sistema de transmisión

Cálculo de la carga axial en montaje horizontal (eje X)



$$Fa_1 = \mu * mg + f + ma$$

Donde:

Fa_1 → Carga axial durante la aceleración hacia delante [N]

μ → Coeficiente de fricción de la superficie de la guía

m → Masa transferida [kg]

g → Aceleración gravitacional [m/s^2]

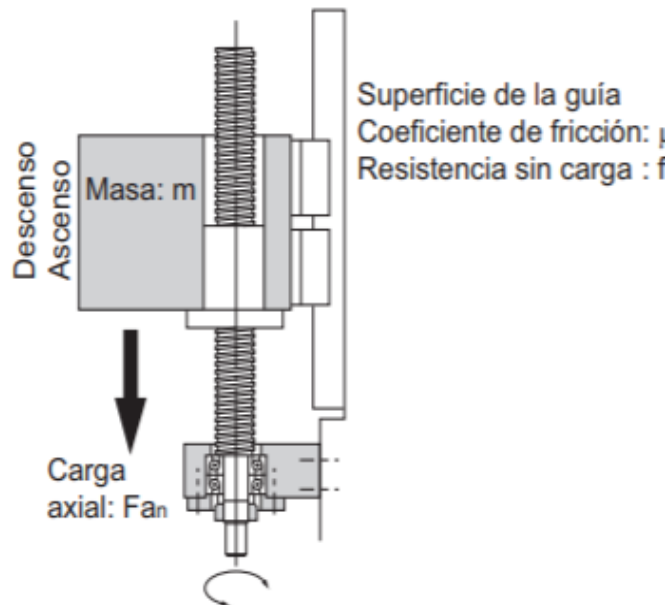
f → Resistencia de la superficie de la guía (sin carga) [N]

a → Aceleración [m/s^2]

DISEÑO Y SELECCIÓN

Selección de componentes para el sistema de transmisión

Cálculo de la carga axial en montaje vertical (eje Y)



$$F_{a_1} = mg + f + ma$$

Donde:

F_{a_1} → Carga axial durante la aceleración hacia delante [N]

m → Masa transferida [kg]

g → Aceleración gravitacional [m/s^2]

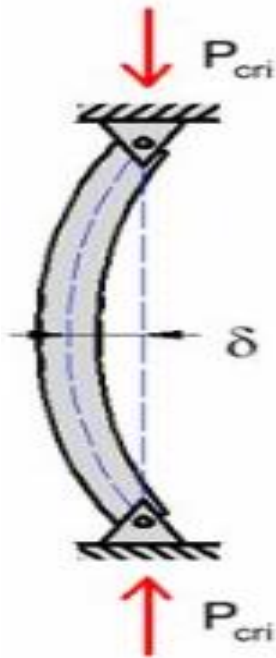
f → Resistencia de la superficie de la guía (sin carga) [N]

a → Aceleración [m/s^2]

DISEÑO Y SELECCIÓN

Selección de componentes para el sistema de transmisión

Cálculo carga axial admisible



$$P_1 = \frac{\eta_1 * \pi^2 * E * I}{(\ell_a)^2} * 0.5$$

Donde:

$P_1 \rightarrow$ Carga de deformación [N]

$\ell_a \rightarrow$ Distancia entre dos superficies de montaje [mm]

$E \rightarrow$ Módulo de Young ($2.06 * 10^5$ [N/mm²])

$I \rightarrow$ Momento geométrico mínimo de inercia del eje [mm⁴]

$\eta_1 - \eta_2 \rightarrow$ Factor de acuerdo con el método de montaje (Ver tabla 11)

0.5 \rightarrow Factor de seguridad sugerido en el catálogo

Fijo – libre	$\eta_1 = 0.25$	$\eta_2 = 1.3$
Fijo - con soporte	$\eta_1 = 2$	$\eta_2 = 10$
Fijo – fijo	$\eta_1 = 4$	$\eta_2 = 20$

DISEÑO Y SELECCIÓN

Selección de componentes para el sistema de transmisión

$$\frac{F_p}{F_a} > 1$$

$F_p \rightarrow$ Carga axial admisible (P_1)[N]

$F_a \rightarrow$ Carga axial aplicada[N]

Para el eje X:

$$\frac{F_p}{F_a} = \frac{5100[N]}{3.19 [N]} = 1598.74$$

Para el eje Y:

$$\frac{F_p}{F_a} = \frac{7832.96[N]}{214.52 [N]} = 36.51$$

DISEÑO Y SELECCIÓN

Par de torsión de rotación

$$T_1 = \frac{F_a * Ph}{2\pi * \eta} * A$$

Donde:

$T_1 \rightarrow$ Par de torsión de fricción debido a una carga externa [N – mm]

$F_a \rightarrow$ Carga aplicada [N]

$Ph \rightarrow$ Paso del husillo de bolas [mm]

$\eta \rightarrow$ Eficiencia del husillo de bolas (0 – 0.95)

$A \rightarrow$ Proporción de reducción

$$A = \frac{\text{diámetro husillo}}{\text{diámetro eje motor}}$$

DISEÑO Y SELECCIÓN

Selección de motor eje X

$$T_1 = 0.673 [N - cm] * 2$$

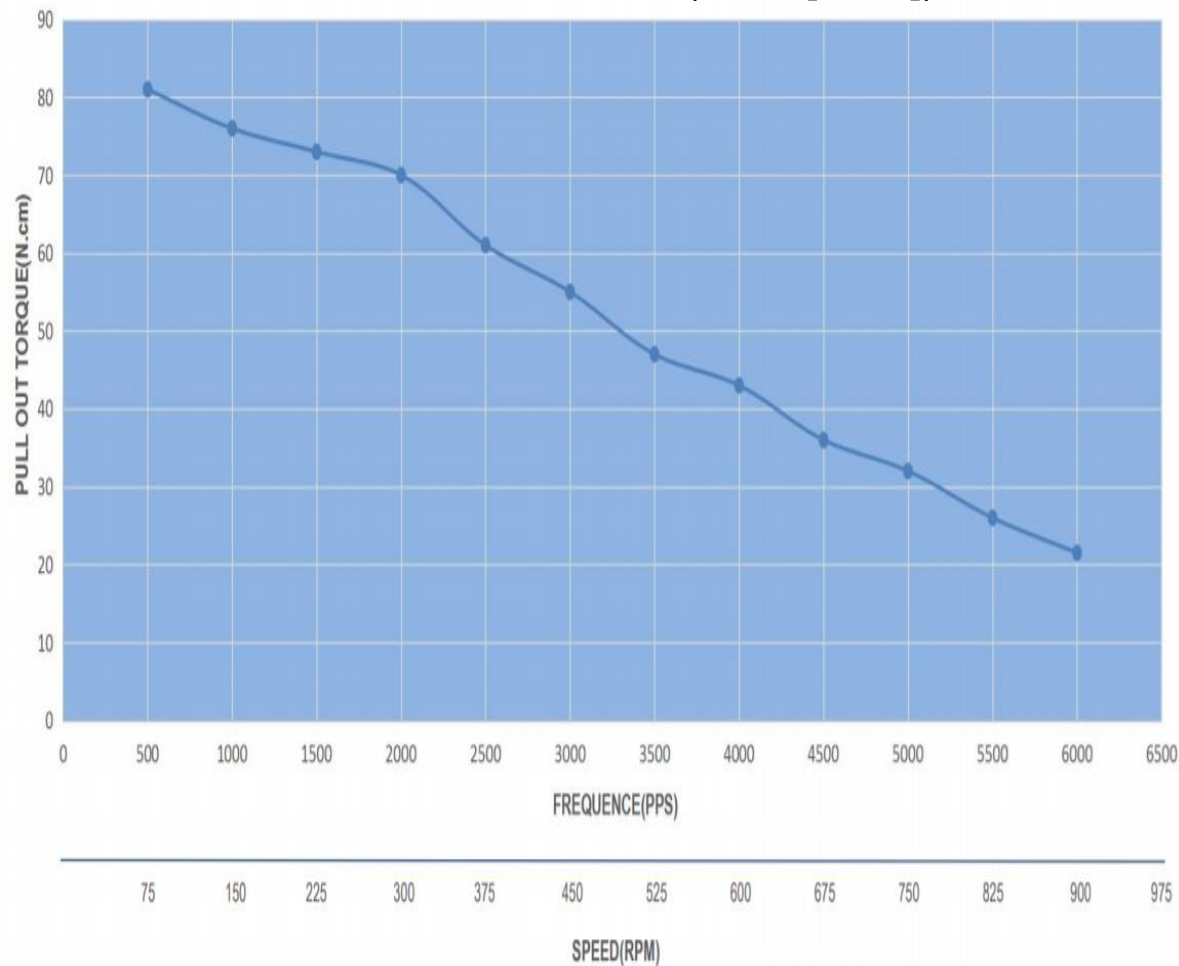
$$T_1 = 1.35 [N - cm]$$

$$N_1 = 2842.30 [RPM],$$

$$N_{HusilloX} = 7161.7 [RPM]$$

$$v_{Xmax} = 1.79 [m/min]$$

Motor NEMA 23 (1.26 [N-m])



DISEÑO Y SELECCIÓN

Selección de motor eje Y

$$T_1 = 35.93 [N - cm] * 2$$

$$T_1 = 71.86 [N - cm]$$

$$N_1 = 4364.19 [RPM]$$

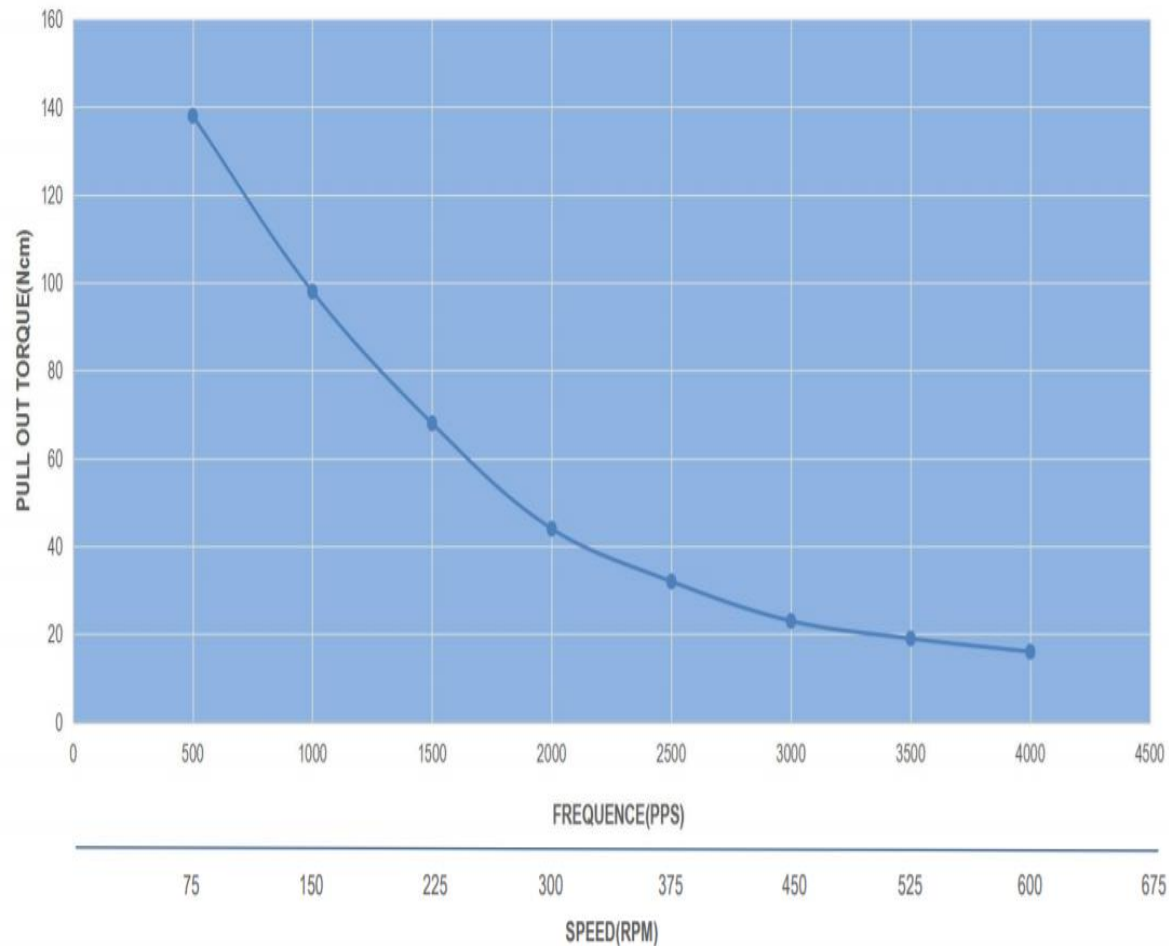
$$N_{HusilloY} = 8728.38 [RPM]$$

Se usan dos motores

$$T_1 = 35.93 [N - cm]$$

$$v_{Ymax} = 937.5 [mm/min]$$

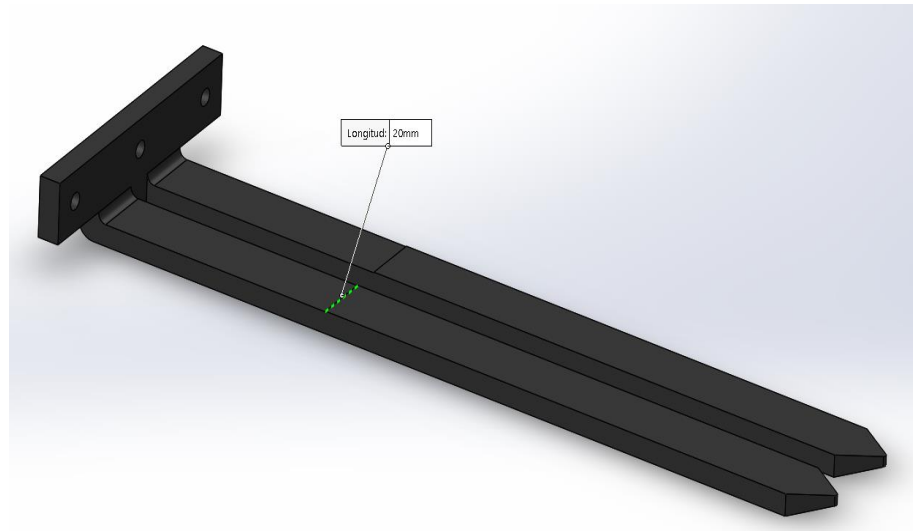
Motor NEMA 23 (1.89 [N-m])



DISEÑO Y SELECCIÓN

DISEÑO DE LAS HORQUILLAS

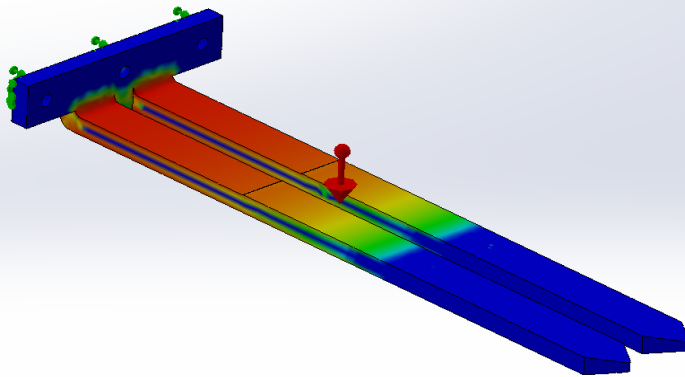
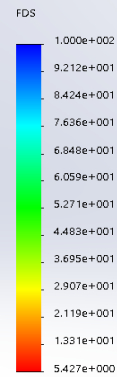
Horquilla es la pieza del AS/RS que está acoplada al eje Z del robot cartesiano, la misma cumplirá la función de transportar los pallets en el proceso de almacenamiento y recuperación



DISEÑO Y SELECCIÓN

ANÁLISIS ESTÁTICO

El factor de seguridad que tendrán las horquillas con carga crítica (N=5.4).



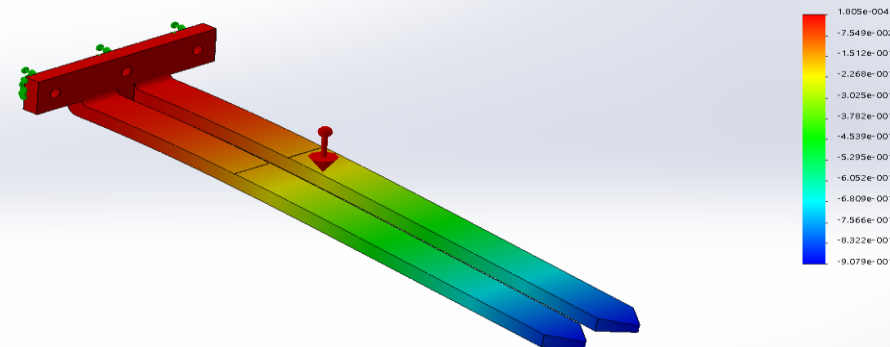
ANÁLISIS DE FLEXIÓN

Flexión máxima de 0.907 [mm] en el extremo de la horquilla con carga crítica.

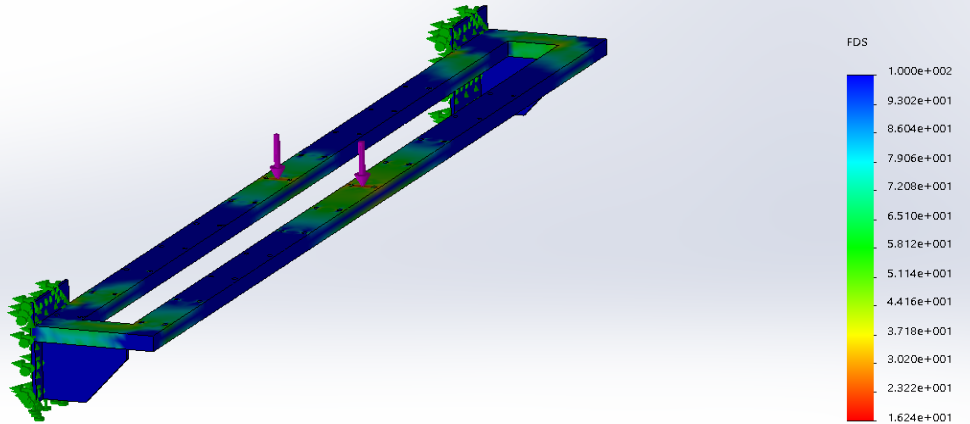
$$\rightarrow \frac{0.907 \text{ [mm]}}{300 \text{ [mm]}}$$

$$\rightarrow 0.003$$

$\frac{y_{max}}{L}$	(0.0005 – 0.003) Parte general de una máquina
$\frac{y_{max}}{L}$	(0.00001 – 0.0005) Precisión moderada
$\frac{y_{max}}{L}$	(0.000001 a 0.00001) Alta precisión



DISEÑO Y SELECCIÓN



ANÁLISIS ESTÁTICO

El factor de seguridad que tendrá el eje X con carga crítica (N=16).

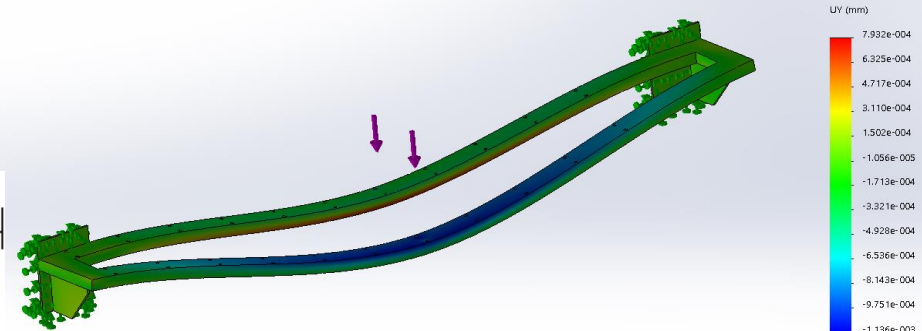
ANÁLISIS DE FLEXIÓN

Flexión máxima de 0.00136 [mm] en el centro del eje X con carga crítica.

$\frac{y_{max}}{L}$	(0.0005 – 0.003) Parte general de una máquina
$\frac{y_{max}}{L}$	(0.00001 – 0.0005) Precisión moderada
$\frac{y_{max}}{L}$	(0.000001 a 0.00001) Alta precisión

$$\rightarrow \frac{0.00136 [mm]}{1100 [mm]}$$

$$\rightarrow 0.000001$$



DISEÑO Y SELECCIÓN



DISEÑO Y SELECCIÓN

DISEÑO DE LA BASE DEL AS/RS

REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO

Altura de 780 [mm] para que esta se pueda acoplar con otras estaciones existentes en el laboratorio.

Masa de los almacenadores en conjunto con el robot cartesiano y la masa total de los objetos que serán almacenados.

$$m_{TotalRepisaA} = 79.99 \text{ [kg]}$$

$$m_{TotalRepisaB} = 82.69 \text{ [kg]}$$

$$P_{TotalRepisaA} = 783.9 \text{ [N]}$$

$$P_{TotalRepisaB} = 810.36 \text{ [N]}$$

$$P_{TotalManipulador} = 501.37 \text{ [N]}$$

DISEÑO Y SELECCIÓN

Análisis Estático

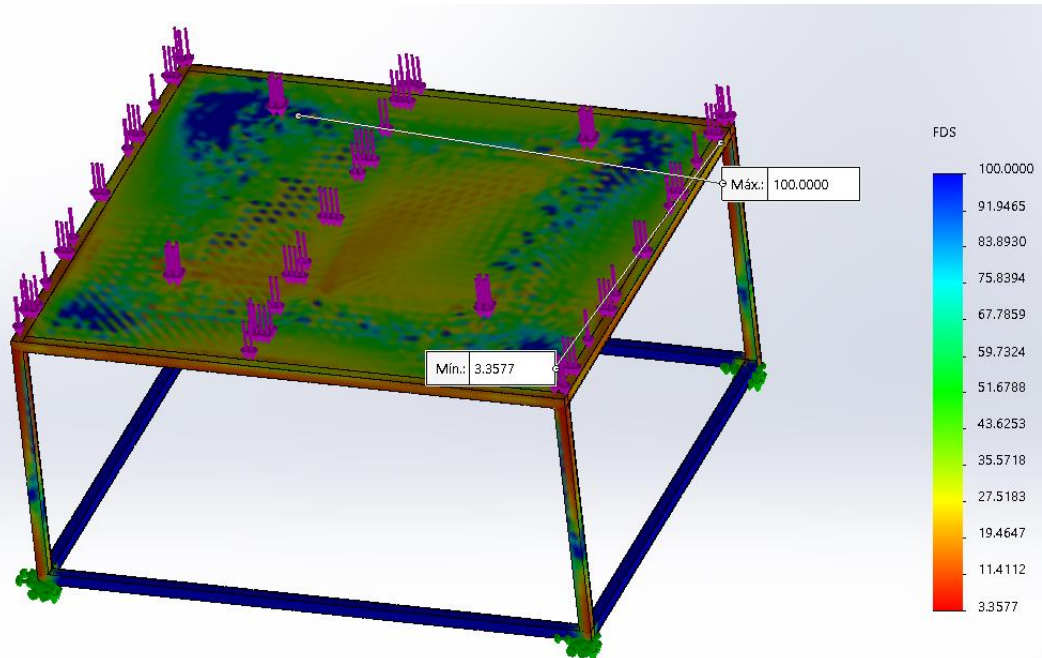
Nombre del modelo: mesaEstudio

Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)

Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1

Criterio: Automático

Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 3.4



factor de seguridad
mínimo en el
diseño es de 3.4

SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Robot de tipo
Cartesiano

Principio de
funcionamiento es el
Control Numérico
Computarizado
(CNC).

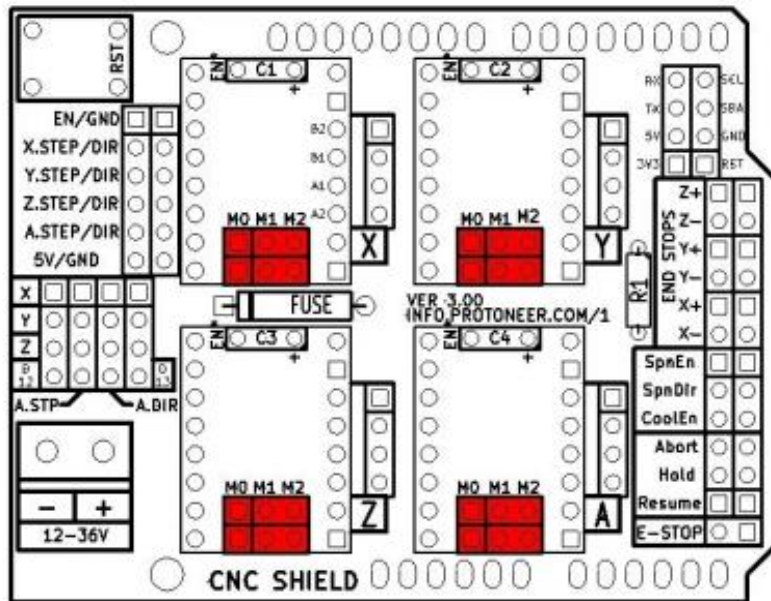
Códigos G o también
conocido como
lenguaje RS-274

Para el presente proyecto se utilizará GRBL que es un software de código abierto de alto rendimiento (Open Source) optimizado para trabajar sobre placas Arduino que actúa de intérprete de códigos G

SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

PLACA DE EXPANSIÓN CNC SHIELD

Está diseñada para ser montada sobre Arduino UNO, permite controlar hasta 4 motores a pasos



Características Arduino CNC Shield v3

Compatible con GRBL

Soporte para 4 ejes (X,Y,Z,A)

2 conexiones para finales de carrera para cada eje (en total 6)

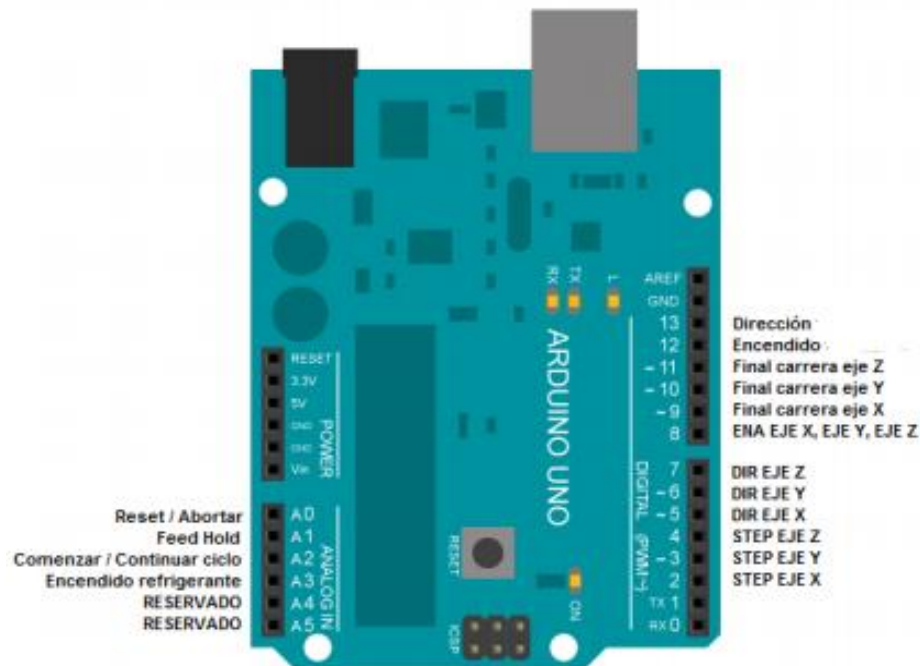
Salida "Spindle Enable" y "Direction"

Alimentación 12-36V DC

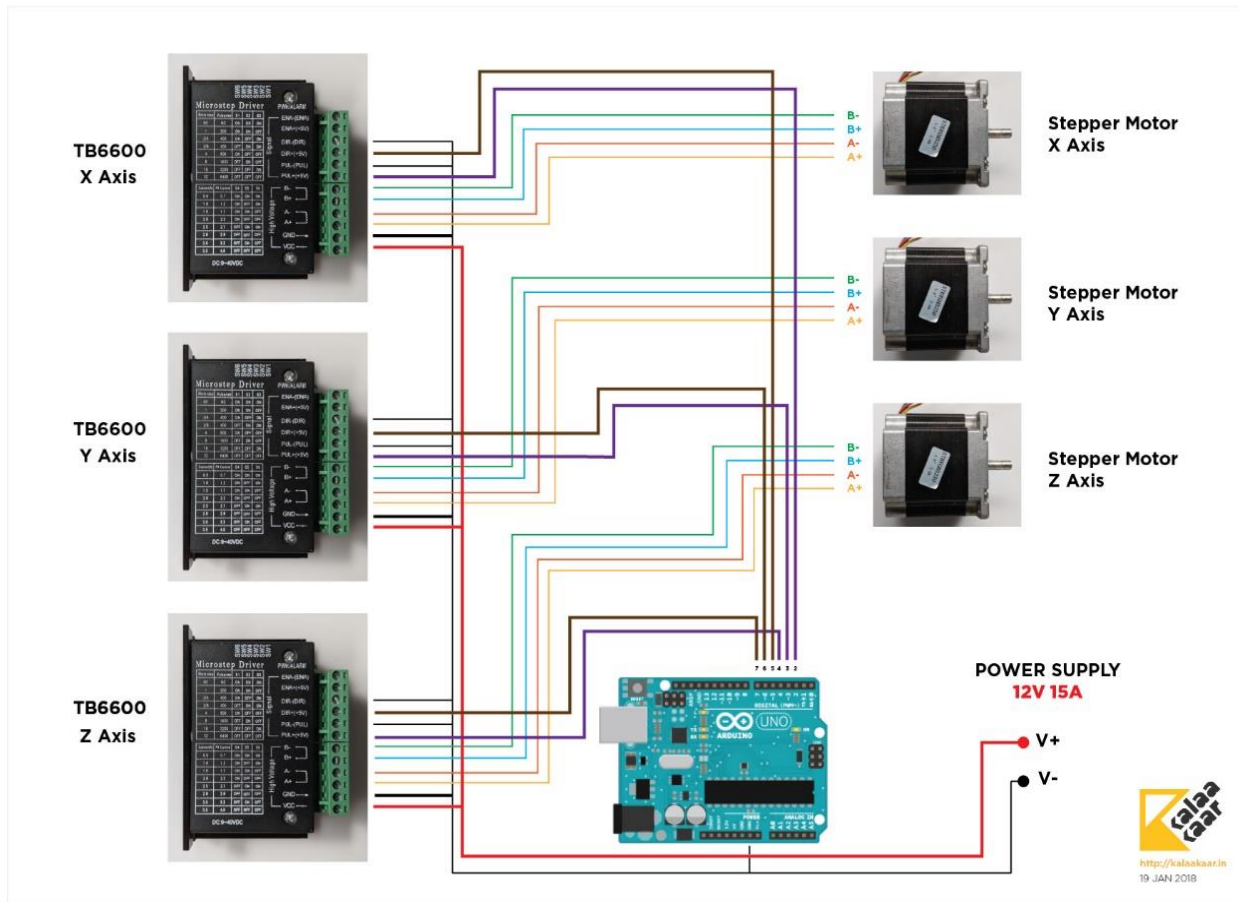
SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

SELECCIÓN DE LA TARJETA DE CONTROL

La placa de expansión está diseñada para ser montada preferentemente sobre una tarjeta Arduino UNO, por lo cual se seleccionará dicha tarjeta.



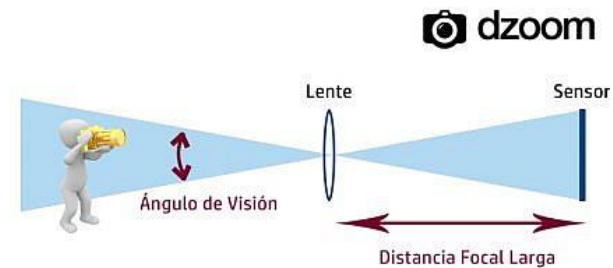
CIRCUITO ELECTRÓNICO



SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

SELECCIÓN DEL TIPO DE CÁMARA

los factores a tomar en cuenta para la selección de la cámara serán el campo de visión, distancia de trabajo, longitud focal, tamaño del sensor y el detalle más pequeño a detectar.

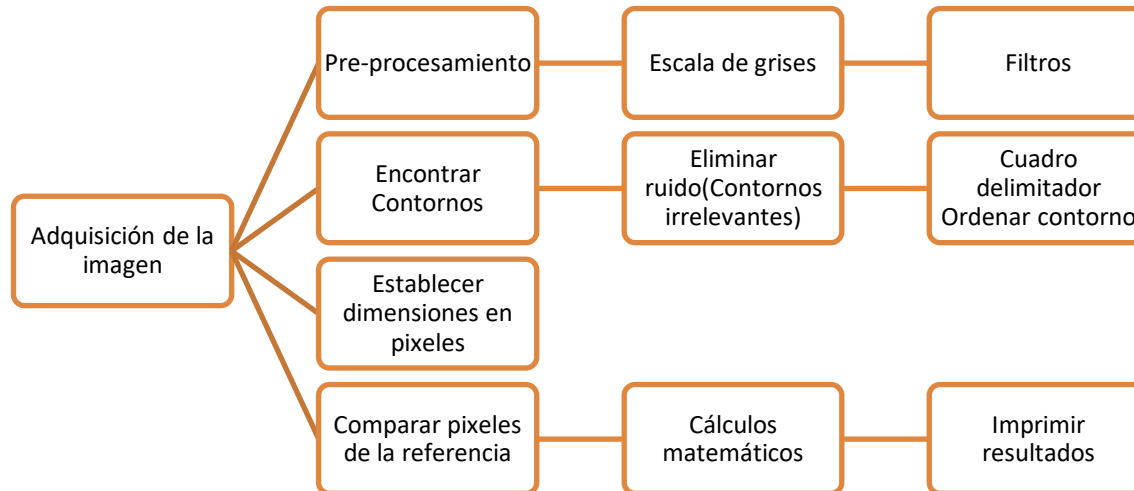


Identificación	Resolución	Pixeles	Lente de cristal	Ángulo de visión	Distancia Focal	Costo
Logitech C170	1.3 MP	640x480	No	58°	2.3 mm	\$ 25
i-SOURCE unlimited	2.0 MP	640X480	NO		3.85 mm	\$ 15

Programación de algoritmos de visión artificial para el reconocimiento de dimensiones

La visión 2D consiste en tomar la captura de un área determinada mediante una cámara, para después procesarla mediante relaciones de píxeles/área. Los requisitos para aplicar este procedimiento son: tener un buen contraste, ambiente de iluminación estable y poca variación de altura.

Descripción general del sistema de visión artificial para la captura e identificación de dimensiones



IMPLEMENTACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE COMPONENTES

CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA



IMPLEMENTACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE COMPONENTES

CONFIGURACIÓN DE LA TARJETA ARDUINO UNO

Para poder utilizar el módulo de expansión CNC *Shield*, es necesario cargar un firmware de control en la placa Arduino. GRBL es un firmware en código abierto que se ejecuta en Arduino el cual toma los códigos G a través de comunicación serial y convierte los comandos en señales para controlar los drivers del motor.

grblUpload Arduino 1.6.9

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda



```
/*
```

```
This sketch compiles and uploads Grbl to your 328p-based Arduino!
```

To use:

- First make sure you have imported Grbl source code into your Arduino IDE. There are details on our Github website on how to do this.
- Select your Arduino Board and Serial Port in the Tools drop-down menu. NOTE: Grbl only officially supports 328p-based Arduinos, like the Uno. Using other boards will likely not work!
- Then just click 'Upload'. That's it!

For advanced users:

If you'd like to see what else Grbl can do, there are some additional options for customization and features you can enable or disable. Navigate your file system to where the Arduino IDE has stored the Grbl source code files, open the 'config.h' file in your favorite text editor. Inside are dozens of feature descriptions and #defines. Simply comment or uncomment the #defines or alter their assigned values, save your changes, and then click 'Upload' here.

Copyright (c) 2015 Sungeun K. Jeon

Released under the MIT-license. See license.txt for details.

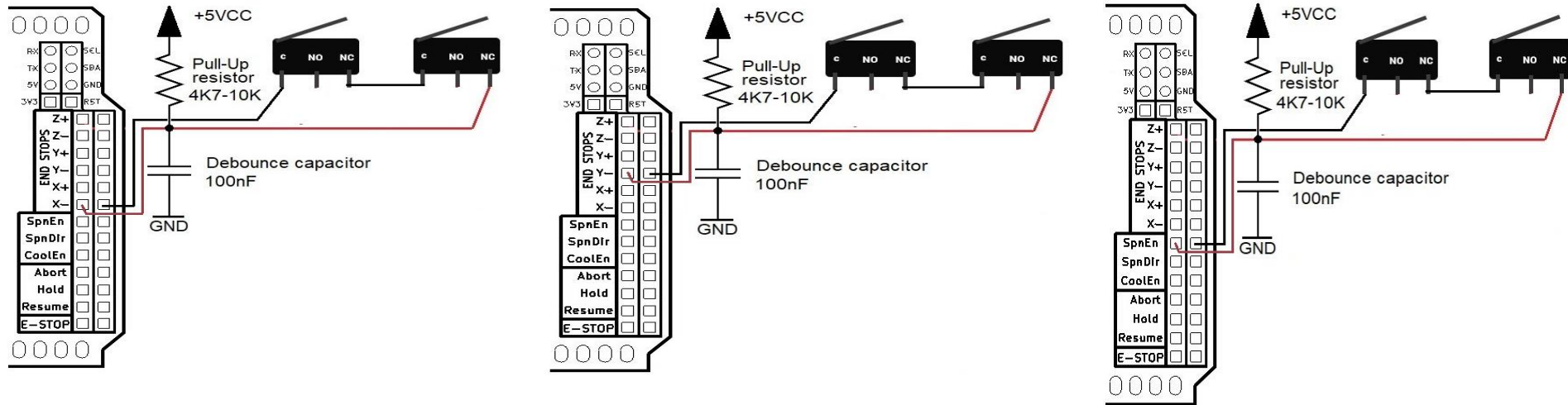
```
*/
```

```
#include <grbl.h>
```

```
// Do not alter this file!
```

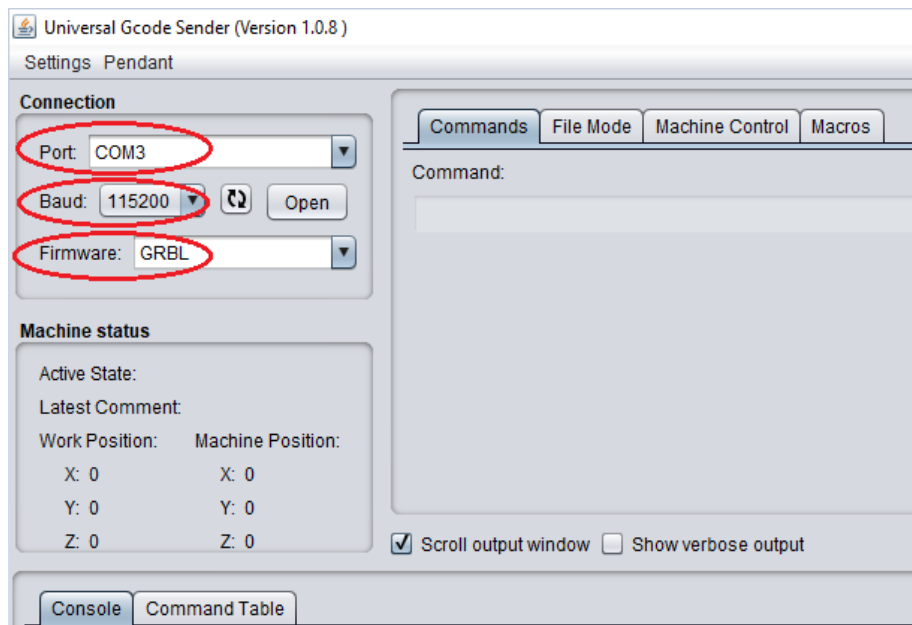
IMPLEMENTACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE COMPONENTES

CONFIGURACIÓN DE LOS FINALES DE CARRERA



IMPLEMENTACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE COMPONENTES

Configuración del Robot mediante el software “*Universal GCode Sender*”



IMPLEMENTACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE COMPONENTES

Console	Command Table
**** Connected to COM3 @ 115200 baud **** Grbl 0.9j ['\$ for help] ['\$H']['\$X' to unlock] >>> \$\$ \$0=10 (step pulse, usec) \$1=25 (step idle delay, msec) \$2=3 (step port invert mask:00000011) \$3=3 (dir port invert mask:00000011) \$4=0 (step enable invert, bool) \$5=1 (limit pins invert, bool) \$6=0 (probe pin invert, bool) \$10=3 (status report mask:00000011) \$11=0.010 (junction deviation, mm) \$12=0.002 (arc tolerance, mm) \$13=0 (report inches, bool) \$20=0 (soft limits, bool) \$21=1 (hard limits, bool) \$22=1 (homing cycle, bool) \$23=3 (homing dir invert mask:00000011) \$24=50.000 (homing feed, mm/min)	\$21=1 (hard limits, bool) \$22=1 (homing cycle, bool) \$23=3 (homing dir invert mask:00000011) \$24=50.000 (homing feed, mm/min) \$25=1000.000 (homing seek, mm/min) \$26=250 (homing debounce, msec) \$27=5.000 (homing pull-off, mm) \$100=160.000 (x, step/mm) \$101=160.000 (y, step/mm) \$102=200.000 (z, step/mm) \$110=7000.000 (x max rate, mm/min) \$111=1600.000 (y max rate, mm/min) \$112=4000.000 (z max rate, mm/min) \$120=30.000 (x accel, mm/sec^2) \$121=10.000 (y accel, mm/sec^2) \$122=10.000 (z accel, mm/sec^2) \$130=1000.000 (x max travel, mm) \$131=1000.000 (y max travel, mm) \$132=500.000 (z max travel, mm) ok

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

```
cap0 >> frame0;  
cap1 >> frame1;  
cap0.release();  
cap1.release();  
std::stringstream sstm1;  
sstm1 << "C:\\ARCHIVOSQT\\SerialPort\\imagenes\\img"<<"F"<< ".png";  
imwrite(sstm1.str(),frame0);  
  
std::stringstream sstm2;  
sstm2 << "C:\\ARCHIVOSQT\\SerialPort\\imagenes\\img"<<"L"<< ".png";  
imwrite(sstm2.str(),frame1);
```

PRE-PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Escalado a grises

Etapa de filtrado

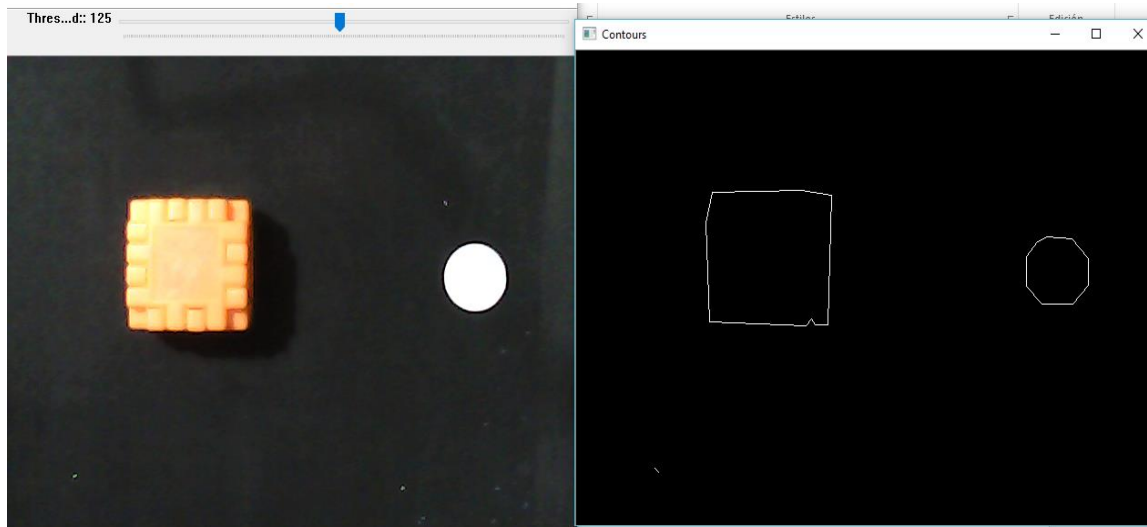
Aplicación de dilatación



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

ENCONTRAR CONTORNOS

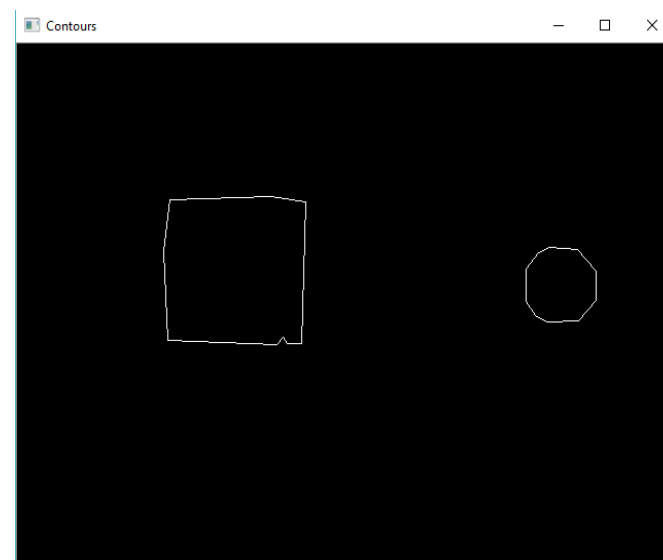
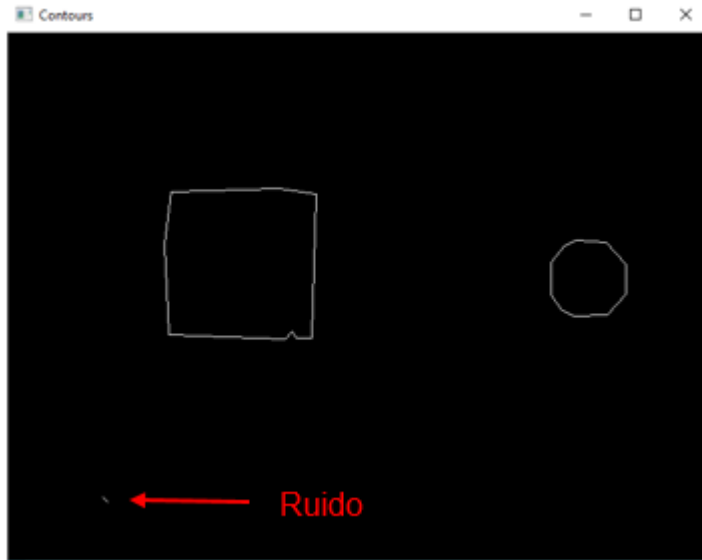
```
/// Find contours  
findContours(threshold_output, contours, hierarchy, CV_RETR_TREE, CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE, Point(0, 0) );
```



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

Eliminación de contornos producidos por ruido

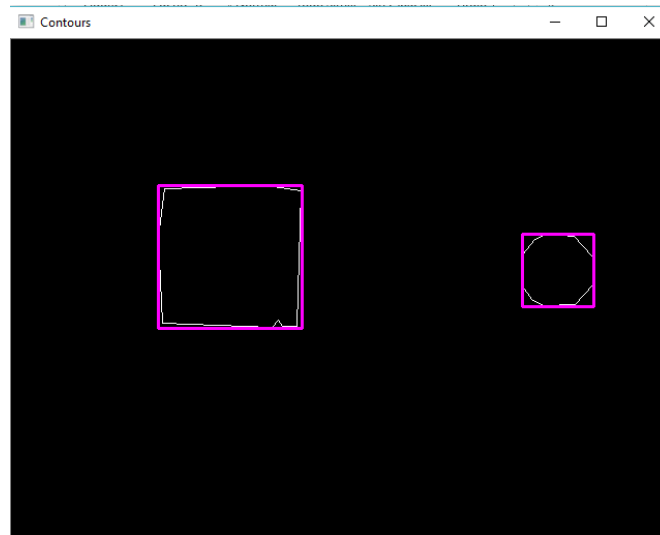
```
if(contourArea(contours[i])>600)
```



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

Creación de un cuadro Delimitador

“rectangle(drawing, boundRect[i].tl(), boundRect[i].br(), Scalar(255,0,255), 2, 8, 0);”.



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

Ordenamiento de contornos

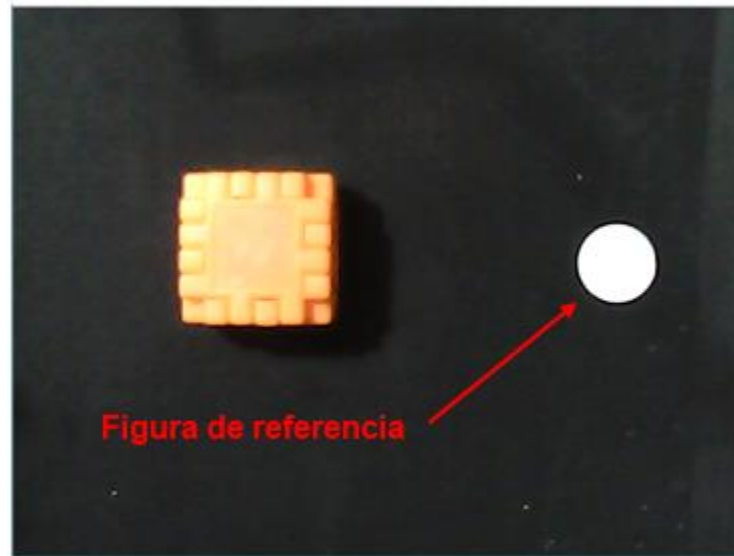
```
sort(contours.begin(), contours.end(), Right_Left_contour_sorter());  
  
struct Right_Left_contour_sorter // 'less' for contours  
{  
    bool operator ()( const vector<Point>& a, const vector<Point> & b )  
    {  
        Rect ra(boundingRect(a));  
        Rect rb(boundingRect(b));  
        return (ra.x > rb.x);  
    }  
};
```

Establecer dimensiones en cantidad de pixeles

```
double res = boundRect[i].width;  
double res1 = boundRect[i].height;
```

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

Comparación de pixeles con la referencia



$$ancho = \frac{ancho \times 24.2}{ancho \text{ de la referencia}}$$

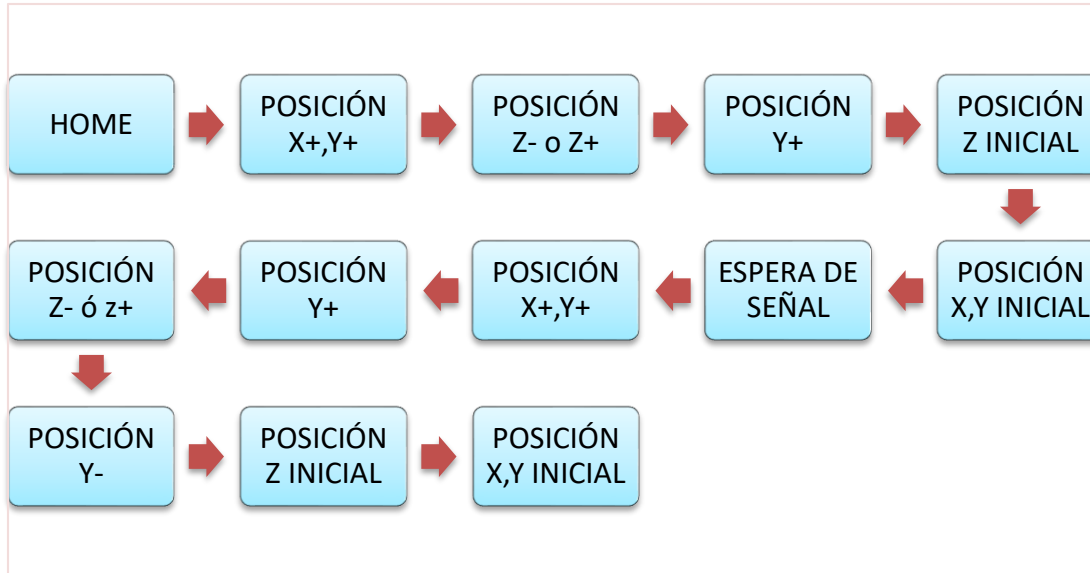
$$altura = \frac{altura \times 26.5}{altura \text{ de la referencia}}$$

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

Resultados finales del sistema de visión artificial



IMPLEMENTACIÓN DE LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN G



COMANDO	DESCRIPCIÓN
\$X	Desbloqueo del mecanismo
\$H	Envío a home (posición de referencia)
G10 P0 L20 X0 Y0 Z0	Inicializa las coordenadas en 0
G90 X268 Y21	Traslado en coordenadas absolutas a una posición X,Y
G91 Z-235	Traslado en coordenadas relativas a una posición Z
G91 Y10	Traslado en coordenadas relativas a una posición Y+
G91 Z235	Posición inicial de Z
G90 X0 Y0	Posición inicial de X,Y mediante coordenadas absolutas
(Espera de señal cuando se deposite una pieza)	
G90 X268 Y21	Traslado en coordenadas absolutas a una posición X,Y

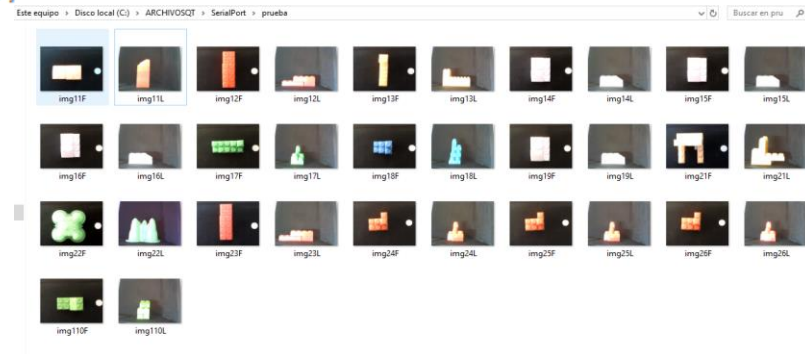
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE REGISTRO DE DATOS

Este software facilita la creación de una base de datos ya que a través del comando **"imwrite"** permite guardar archivos en un directorio previamente especificado

```
void guardar::sver()
{
    for(int ceroA=0;ceroA<=32;ceroA++){
        almacenadorA[ceroA]=0;
    }
    for(int ceroB=0;ceroB<=32;ceroB++){
        almacenadorB[ceroB]=0;
    }
    QStringList lista = QDir("C:\\ARCHIVOSQT\\SerialPort\\prueba").entryList();
    for (int ia=2; ia<lista.size(); ia++){
        for(int j=1;j<3;j++){
            for(int i=1;i<=32;i++){
                std::stringstream ss;
                ss << "img" << j << i << ".png";

                if(ss.str().compare(lista.at(ia).toStdString()) == 0){

                    if(j==1){
                        almacenadorA[i]=1;
                    }else if(j==2){
                        almacenadorB[i]=1;
                    }
                }
            }
        }
    }
}
```



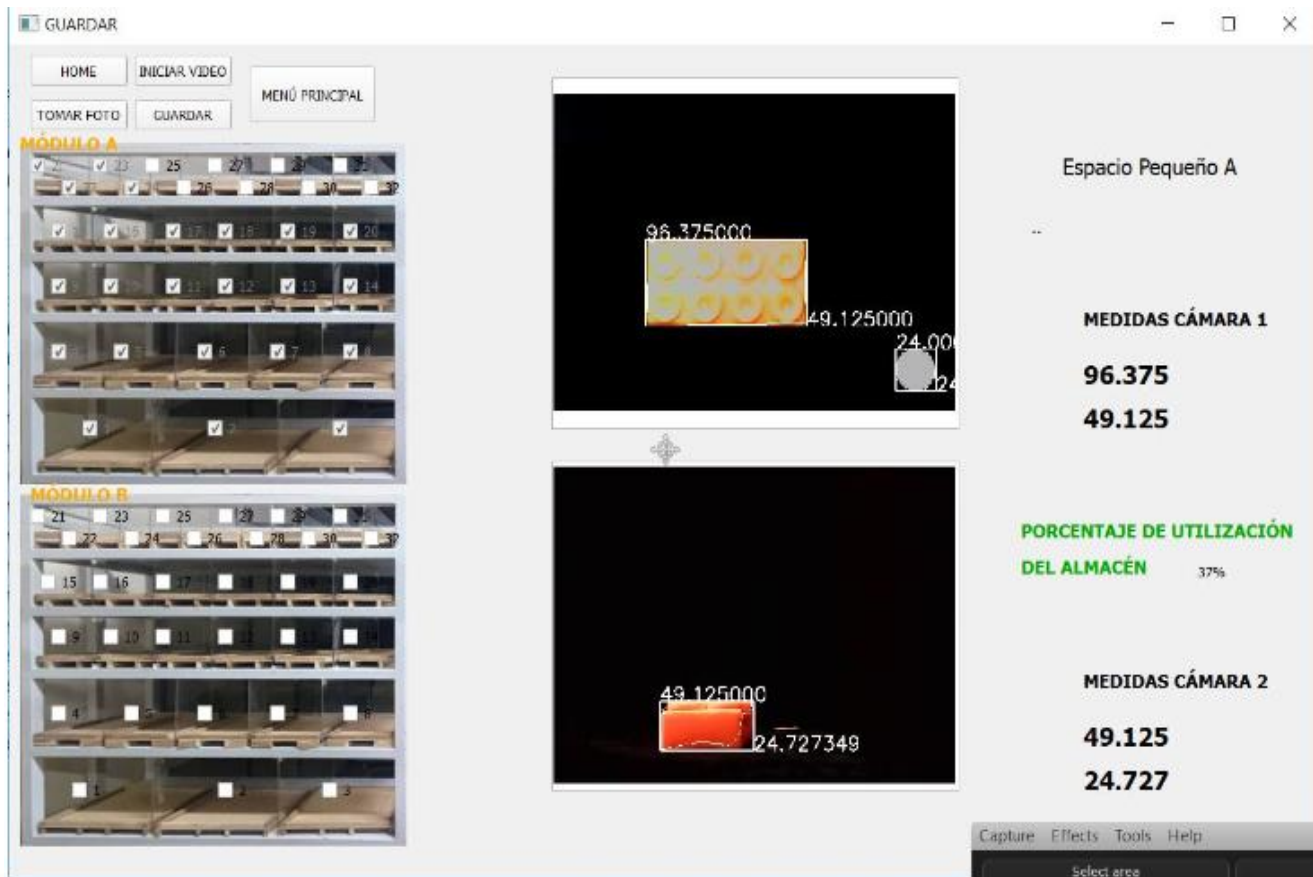
CREACIÓN DE LA INTERFAZ GRÁFICA HMI



Ventana Principal

CREACIÓN DE LA INTERFAZ GRÁFICA HMI

Ventana Secundaria (Guardado)

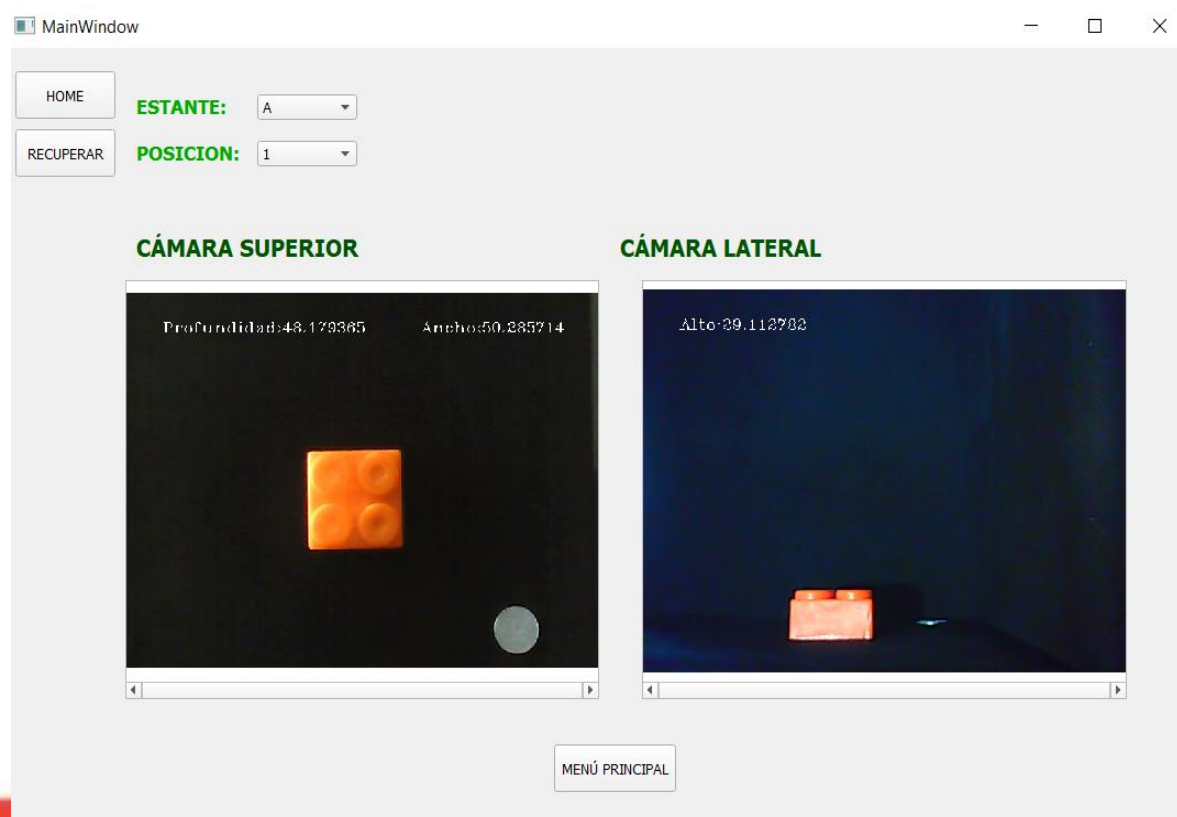


The screenshot displays the 'GUARDAR' (Save) window of an HMI interface. The window title is 'GUARDAR' and it features standard window controls (minimize, maximize, close). The interface is divided into several sections:

- Navigation:** Buttons for 'HOME', 'INICIAR VIDEO', 'TOMAR FOTO', 'GUARDAR', and 'MENÚ PRINCIPAL' are located at the top.
- Warehouse Layout:** On the left, there are two sections labeled 'MÓDULO A' and 'MÓDULO B'. Each section shows a grid of storage bins with checkboxes indicating their status.
- Camera Views:** Two central video feeds show the warehouse from different angles. The top camera view displays coordinates: 96.375000 (horizontal) and 49.125000 (vertical). The bottom camera view displays coordinates: 49.125000 (horizontal) and 24.727349 (vertical).
- Metrics:** On the right side, the following information is displayed:
 - 'Espacio Pequeño A' (Small Space A)
 - 'MEDIDAS CÁMARA 1' (Camera 1 Measurements): 96.375 and 49.125
 - 'PORCENTAJE DE UTILIZACIÓN DEL ALMACÉN' (Warehouse Utilization Percentage): 37%
 - 'MEDIDAS CÁMARA 2' (Camera 2 Measurements): 49.125 and 24.727
- Footer:** A menu bar at the bottom includes 'Capture', 'Effects', 'Tools', and 'Help'. A 'Select area' button is visible below the menu.

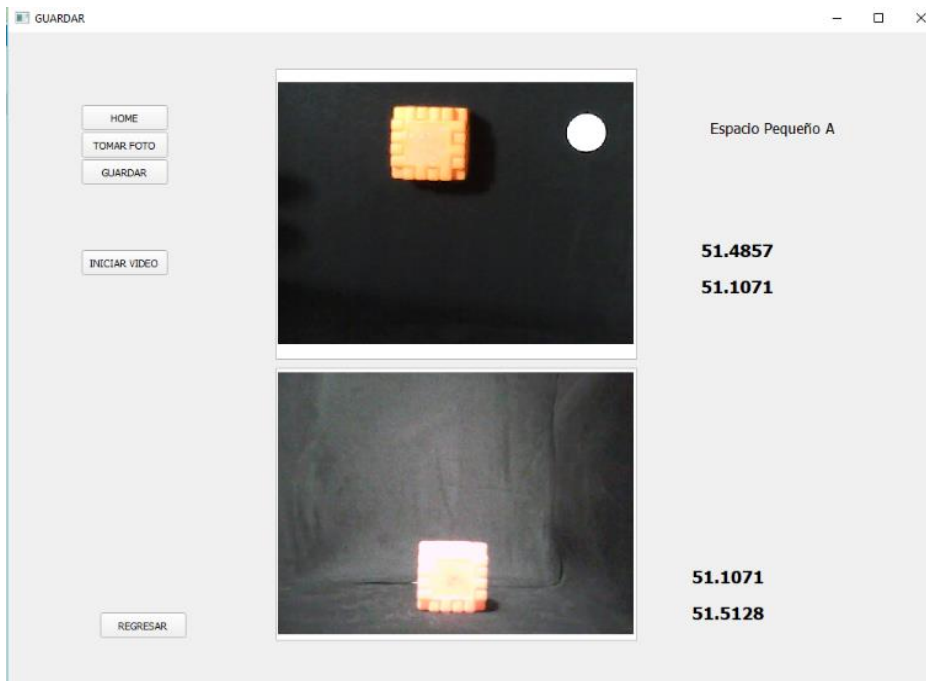
CREACIÓN DE LA INTERFAZ GRÁFICA HMI

Ventana Secundaria (Recuperación)



EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Pruebas de medición de cubos regulares

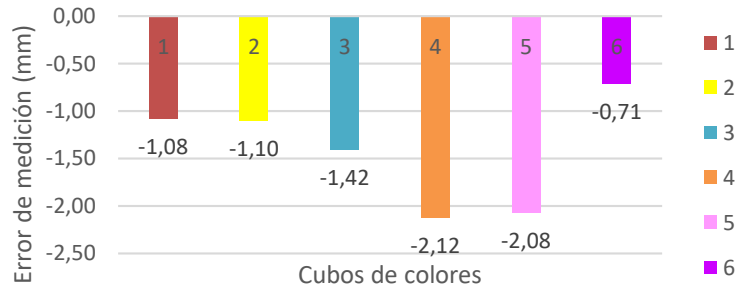


Prueba	Longitud X medida [mm]	Longitud Y medida [mm]	Longitud Z medida [mm]	Error X [mm]	Error Y [mm]	Error Z [mm]
1	51,11	51,88	51,49	-1,11	-1,88	-1,49
2	51,01	52,64	52,23	-1,01	-2,64	-2,23
3	50,7	52,63	51,85	-0,70	-2,63	-1,85
4	51,08	53,03	52,23	-1,08	-3,03	-2,23
5	51,08	52,63	52,23	-1,08	-2,63	-2,23
6	51,85	52,63	52,62	-1,85	-2,63	-2,62
7	51,08	52,64	52,23	-1,08	-2,64	-2,23
8	51,85	52,23	52,23	-1,85	-2,23	-2,23
9	51,08	53,44	52,23	-1,08	-3,44	-2,23
10	49,97	50,76	51,11	0,03	-0,76	-1,11
Promedio de Error				-1,08	-2,451	-2,04

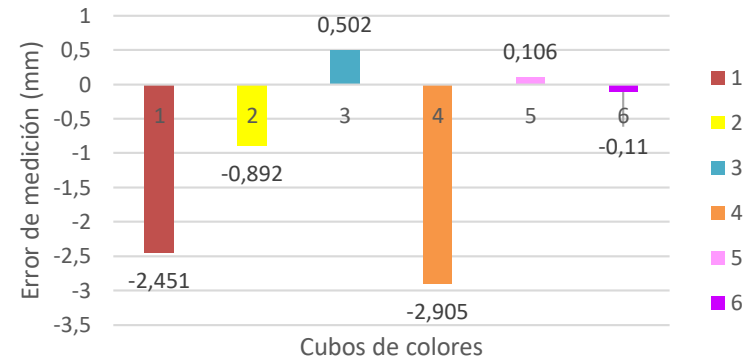
Medidas reales de 50x50x50 [mm].

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

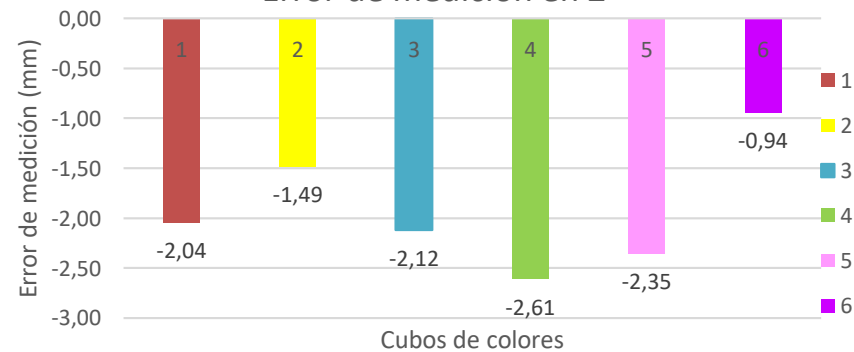
Error de medición en X



Error de medición en Y

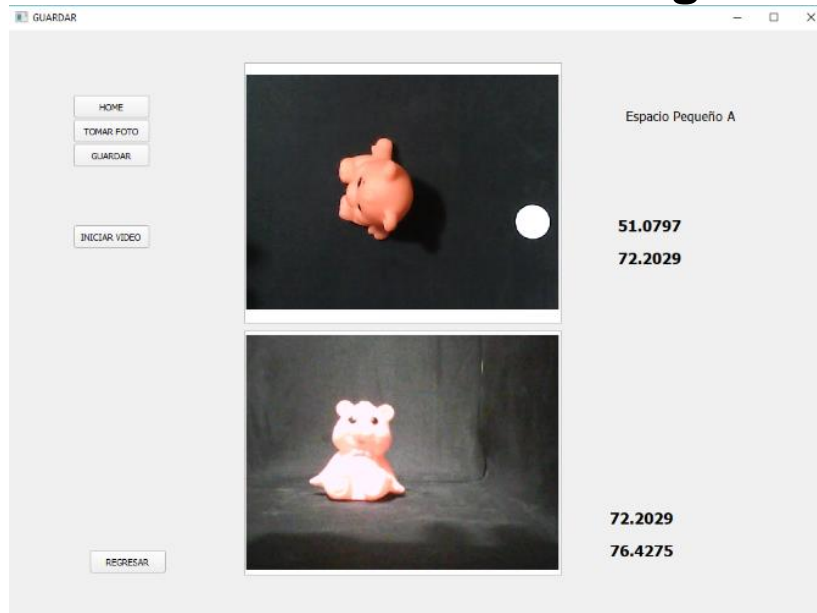


Error de medición en Z



EVALUACIÓN DE RESULTADOS

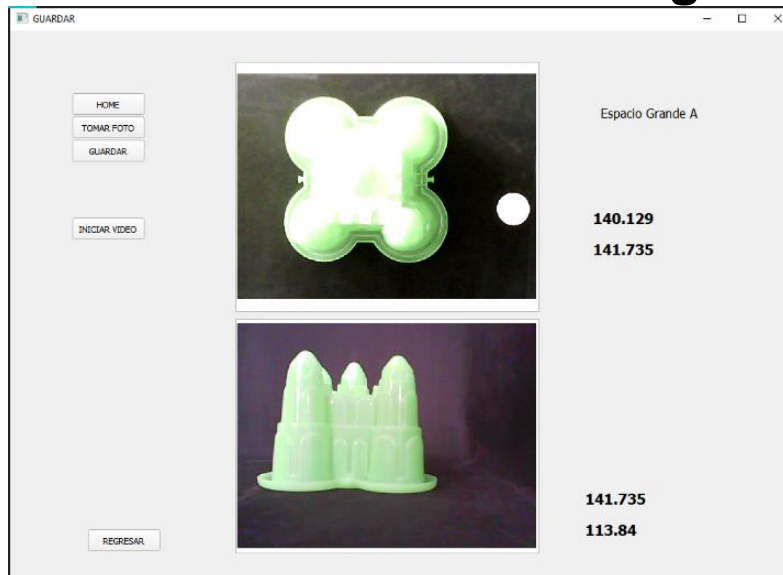
Pruebas de medición de figuras irregulares



Prueba	Longitud	Longitud	Longitud	Error	Error	Error
	X medida	Y medida	Z medida	X	Y	Z
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	72,20	76,42	51,08	10,80	3,58	4,92
2	71,43	74,53	51,08	11,57	5,47	4,92
3	73,26	76,64	51,83	9,74	3,36	4,17
4	75,08	78,54	53,4	7,92	1,46	2,60
5	75,08	78,14	53,4	7,92	1,86	2,60
6	72,2	78,25	51,46	10,80	1,75	4,54
7	75,48	80,62	53,8	7,52	-0,62	2,20
8	75,08	79,82	54,2	7,92	0,18	1,80
9	75,48	80,62	54,2	7,52	-0,62	1,80
10	75,48	80,62	54,2	7,52	-0,62	1,80
Promedio de Error				8,92	1,58	3,14

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Pruebas de medición de figuras irregulares



Prueba	Longitud	Longitud	Longitud	Error	Error	Error
	X medida [mm]	Y medida [mm]	Z medida [mm]	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
1	142,13	114	140,13	-2,13	-6	-0,13
2	142,13	115,74	140,53	-2,13	-7,74	-0,53
3	135,95	110,42	134,8	4,05	-2,42	5,20
4	142,53	115,69	140,93	-2,53	-7,69	-0,93
5	135,95	110,71	143,03	4,05	-2,71	-3,03
6	142,53	115,76	140,13	-2,53	-7,76	-0,13
7	140,01	112,53	138,03	-0,01	-4,53	1,97
8	135,95	109,26	134,8	4,05	-1,26	5,20
9	142,13	115,43	140,12	-2,13	-7,43	-0,12
10	136,34	110,14	134,8	3,66	-2,14	5,20
Promedio de Error				0,44	-4,97	1,27

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Pruebas de error en la medición

Objeto	Número de	Resultados	Resultado
	Pruebas	Contables	Basura
Irregular verde pequeña	10	10	0
Cubo pequeño naranja	10	10	0
Irregular pequeño naranja	10	10	0
Irregular grande verde	10	10	0
Cubo pequeño amarillo	10	10	0
Cubo pequeño azul	10	10	0
Irregular hueca azul pequeña	10	5	5
Total	70	65	5

Se han tomado 70 mediciones de forma continua de las diferentes piezas medidas anteriormente para determinar cuántas mediciones arrojan resultados “basura”, es decir resultados que no pueden ser contabilizados para el futuro reconocimiento dimensional de módulos de almacenamiento, se obtuvo una efectividad del 92.85%.

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Precisión del manipulador

Prueba	Coordenada Requerida [mm]			Error [mm]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	10	10	10	0,04	0,1	0,06
2	50	50	50	0,04	0,1	0,06
3	100	100	100	0,04	0,1	0,06
4	150	150	150	0,04	0,1	0,06
5	200	200	200	0,04	0,1	0,06
Promedio Error				0,04	0,1	0,06

Repetibilidad del manipulador

Prueba	Coordenada Requerida [mm]			Error [mm]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	200	200	200	0,04	0,1	0,06
2	200	200	200	0,04	0,1	0,06
3	200	200	200	0,04	0,1	0,06
4	200	200	200	0,04	0,1	0,06
5	200	200	200	0,04	0,1	0,06
Promedio				0,04	0,1	0,06

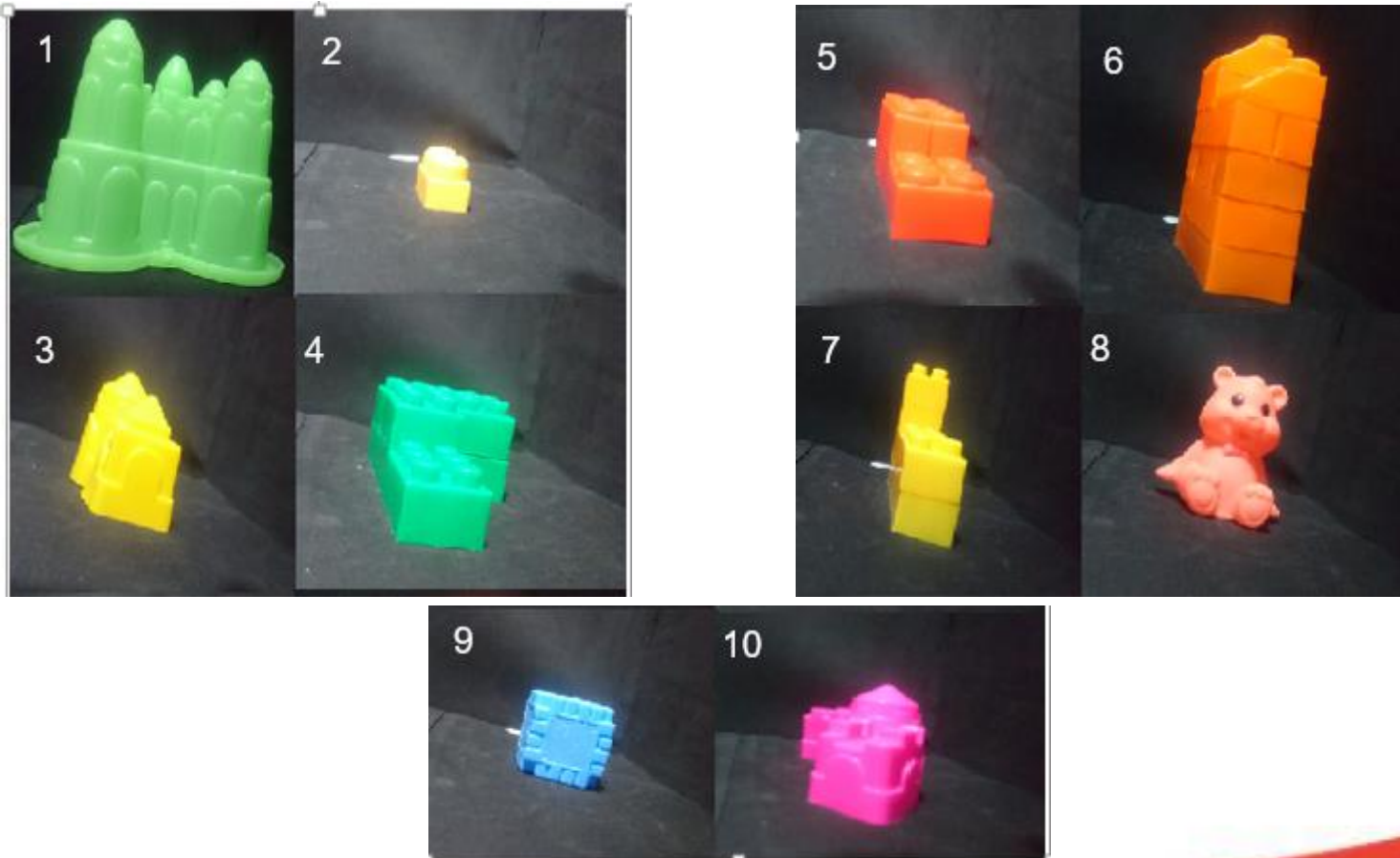
EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Pruebas de almacenamiento sistema AS/RS vs Operario

- Operario #1: persona de 25 años con formación de tercer nivel en el área técnica (Ing. Mecatrónica)
- Operario #2 : persona de 24 años con formación de tercer nivel en el área técnica (Ing. Mecatrónica),
- Operario #3 : persona de 50 años con formación de cuarto nivel en el área humanística (docente) con conocimientos técnicos empíricos
- Operario #4: persona de 46 años, utiliza lentes de regulación media, con formación de tercer nivel en el área humanística (docente) sin conocimientos técnicos
- Operario #5 (Tabla 45) es una persona de 18 años, con formación secundaria sin conocimientos técnicos.

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Pruebas de almacenamiento sistema AS/RS vs Operario



EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Pruebas de almacenamiento sistema AS/RS vs Operario

Prueba guardado automático

Objeto	Lugar de Almacenamiento				Error	Optimización
	1	2	3	4		
1	x					1
2				X		1
3			X			1
4			X			1
5				X		1
6	x					1
7			X			1
8			X			1
9				X		1
10			X			1
Total					0	10

Prueba Operario #2

Objeto	Lugar de Almacenamiento				Error	Optimización
	1	2	3	4		
1	x					1
2				x		1
3			X			1
4			X			1
5			X			
6	x					1
7		X				
8			X			1
9			X			
10			X			1
Total					0	7

Prueba Operario #1

Objeto	Lugar de Almacenamiento				Error	Optimización
	1	2	3	4		
1	x					1
2				X		1
3				X	1	
4		x				
5			X			
6		X			1	
7			X			1
8			X			1
9			X			
10		X				
Total					2	4

Prueba Operario #3

Objeto	Lugar de Almacenamiento				Error	Optimización
	1	2	3	4		
1	X					1
2				x		1
3		X				
4		X				
5		X				
6	X					1
7			X			1
8			X			1
9			X			
10	X					
Total					0	5

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Pruebas de almacenamiento sistema AS/RS vs Operario

Prueba Operario #4

Objeto	Lugar de Almacenamiento				Error	Optimización
	1	2	3	4		
1		X			1	
2				x		1
3			X			1
4			X			1
5			X			
6		X			1	
7			X			1
8			X			1
9			X			
10		X				
Total					2	5

Prueba Operario #5

Objeto	Lugar de Almacenamiento				Error	Optimización
	1	2	3	4		
1	X					1
2				x		1
3			X			1
4		X			1	
5			X			
6	X					1
7		X			1	
8			X			1
9			X			
10	X					
Total					2	5

El promedio general de la máquina operada manualmente tiene un error del 12%, un porcentaje de optimización de espacios del 52% y un porcentaje de guardado carente de optimización del 36%.

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Pruebas de optimización de espacios de almacenamiento

Objeto #	Lugar de Almacenamiento				Optimización (0/1)	Error (0/1)
	1	2	3	4		
1				X	1	0
2			X		1	0
3			X		1	0
4			X		1	0
5			X		1	0
6			X		1	0
7			X		1	0
8				X	1	0
9	X				1	0
10			X		1	0
11			X		1	0
12			X		1	0
13				X	0	1
14				X	1	0
15			X		1	0
16				X	1	0
17			X		1	0
18			X		1	0
19				X	0	1
20			X		1	0

21						X	1	0	
22						X	1	0	
23						X	1	0	
24							X	0	1
25						X	1	0	
26						X	1	0	
27						X	1	0	
28						X	1	0	
29						X	1	0	
30		x					1	0	
31						X	1	0	
32		x					1	0	
33							0	1	
34						X	1	0	
35		x					1	0	
36						X	1	0	
37		x					1	0	
38						X	1	0	
39						X	1	0	
40						X	1	0	
41						X	1	0	
42		x					1	0	

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Pruebas de optimización de espacios de almacenamiento

43	x		1	0	
44		x	1	0	
45		x	1	0	
46			X	1	0
47			X	0	1
48			X	1	0
49			X	1	0
50			X	1	0
51			X	1	0
52			X	1	0
53			x	1	0
54			X	1	0

55			X	1	0
56			X	1	0
57				0	1
58			X	1	0
59			X	1	0
60			X	0	1
61			X	1	0
62			X	1	0
63			X	1	0
64			X	1	0
Total				57	7

Se han analizado 64 objetos, en dichas pruebas se registraron 7 errores, teniendo un 90.63% de efectividad. Cabe recalcar que los errores se produjeron cuando la luz ambiental era baja, se analizaban objetos de color oscuro y los objetos cabían con holgura casi inexistente en el pallet.

ANÁLISIS DE COSTOS

La inversión total de implementación del sistema AS/RS es de \$2373.10. Se tomará como referencia el proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA AUTOMATIZADO DE ALMACENAMIENTO/ RECUPERACIÓN (AS/RS), PARA SISTEMAS FLEXIBLES DE MANUFACTURA EN EL LABORATORIO CNC DE LA ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA, UTILIZANDO PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES” de Capilla C. y Pulloquina J. desarrollado en el 2014 en este proyecto se invirtió \$2855.00 en materiales, sin considerar la mano de obra (\$7600), obteniendo una reducción de costos de \$481.90.

CONCLUSIONES

- Se diseñó e implemento un prototipo de sistema flexible de almacenamiento recuperación (AS /RS) automatizado mediante visión artificial para el reconocimiento dimensional de módulos de almacenamiento y optimización de espacios, para el Laboratorio de Mecatrónica en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, obteniendo un porcentaje general de efectividad del 90.63% en el sistema, siendo el principal inconveniente la medición de objetos con altura superior a 100 [mm] y/o objetos irregulares huecos debido el método de visión artificial elegido.
- Se investigo acerca de sistemas de almacenamiento y recuperación automatizados, para después determinar una configuración que permitió reducir costos y aumentar la capacidad de almacenamiento.

CONCLUSIONES

- Mediante el uso de cámaras web y el software Qt Creator 4.2.2. con sus extensiones OpenCv se implementó un sistema de selección dimensional y optimización de espacios en módulos de almacenamiento a través de la medición de objetos por visión artificial. Se determinó que en una prueba humano vs. máquina, siempre y cuando las condiciones lumínicas sean óptimas, el porcentaje aproximado de efectividad del sistema de visión artificial es del 100%, mientras que el humano presenta un promedio de optimización de espacios del 52%, un funcionamiento sin optimización del 36% y un error del 12%
- Usando el software SolidWorks 2017 se diseñó una estructura y manipulador cartesiano robusto para el sistema AS/RS, obteniendo un robot cartesiano con un error máximo de precisión de 0,1 [mm] y una repetibilidad con un porcentaje de efectividad del 100%.

CONCLUSIONES

- Mediante lenguaje C++ con el software compilador Qt Creator, el uso de una tarjeta Arduino con el software GRBL y el software Universal Gcoder Sender para la configuración del sistema se implementó un sistema eléctrico y de control que provee precisión, repetibilidad y rapidez al manipulador y sistema en general. Se determinó que el operar una máquina mediante códigos G resulta sencillo y económico debido a la existencia gratuita del código GRBL de Arduino, siempre y cuando la estructura mecánica sea robusta y funcional.
- Haciendo uso de C++ con el compilador Qt Creator 4.2.2. se implementó un sistema de registro de objetos almacenados, permitiendo que el sistema esté al tanto de los espacios disponibles que posee.

CONCLUSIONES

- Gracias al software Qt Creator 4.2.2. se diseñó e implementó un panel de control para la supervisión e interacción del operario con la maquina durante el proceso de almacenaje y recuperación, proveyendo la posibilidad de visualizar los espacios ocupados, porcentaje total de ocupación de los almacenes y visualización de los objetos a recuperar con sus respectivas medidas.
- Se realizaron pruebas de funcionamiento y validó el funcionamiento del sistema AS/RS que validaron la precisión y repetibilidad del manipulador, la optimización de espacios de almacenamiento que presenta el accionar automático de la máquina operada mediante visión artificial, frente a accionar manual al ser operada por el humano y finalmente el funcionamiento integral de la máquina con un 90.63% de efectividad.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda siempre enviar a la máquina a su posición home tanto al encenderla o apagarla.
- Se recomienda no manipular los pallets una vez que los mismos sean ubicados por el manipulador en el sitio deseado.
- Para el correcto funcionamiento del sistema del manipulador cartesiano se recomienda mantener lubricado el sistema de transmisión.
- Las velocidades a las cuales están configurados cada uno de los ejes de movimiento permiten transportar la carga crítica especificada en este trabajo, cuando la máquina transporta objetos de menor peso supera la fuerza promedio de un hombre adulto, por lo cual se recomienda no acercarse a la máquina en movimiento para prevenir posibles accidentes.

RECOMENDACIONES

- De ser necesario una mayor velocidad o potencia en el manipulador se sugiere incluir un driver adicional únicamente para el eje Y, pues actualmente los dos motores comparten un mismo driver y son los motores que movilizan una mayor carga.
- Si se desea utilizar la máquina de forma manual, usando el software Universal Gcode Sender, se recomienda verificar las unidades del mismo, familiarizarse con los ejes y direcciones de movimientos con las cuales se configuró la máquina para que no existan choques.
- En caso de tener problemas de falsos positivos en los finales de carrera se sugiere revisar en primer lugar el correcto funcionamiento del circuito de filtrado de señales.

RECOMENDACIONES

- Para usar el programa desarrollado en un pc diferente, se recomienda revisar que se ha cambiado todas las direcciones de guardado y búsqueda de archivos en la programación, para que no existan errores de compilación.
- Si es necesario usar la máquina en la noche o en un ambiente extremadamente oscuro se recomienda usar la lámpara portátil anexa al sistema de visión artificial.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

¡Gracias!

