

ESPE

ESCUELA POLITÉCNICA
DEL EJERCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA



Ingeniería
ecotrónica

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA
DE MANUFACTURA CON BRAZO ROBÓTICO
CENTRALIZADO Y CONTROL DE CALIDAD
CON VISIÓN ARTIFICIAL EN EL
LABORATORIO DE ROBOTICA INDUSTRIAL
DE LA ESPE - L**



CAPÍTULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO



CELDA DE MANUFACTURA

Una celda de manufactura es un conjunto de componentes electrónicos y electromecánicos, que trabajan de manera coordinada para la fabricación en serie de un producto.





Cada elemento debe cumplir ciertas especificaciones o características que marcan la diferencia en rendimiento dentro de los sistemas de manufactura, éstas son:

- ✓ Flexibilidad.
- ✓ Reconfigurabilidad.
- ✓ Tolerancia a fallas.
- ✓ Calidad.
- ✓ Aumento de la productividad.
- ✓ Espacio físico reducido.

TIPOS DE CELDAS DE MANUFACTURA

➤ Celdas atendidas.



➤ Celdas no atendidas.

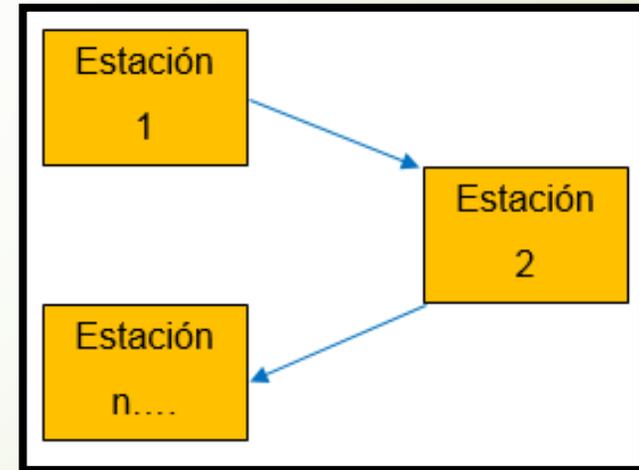


CONFIGURACIÓN DE LAYOUTS

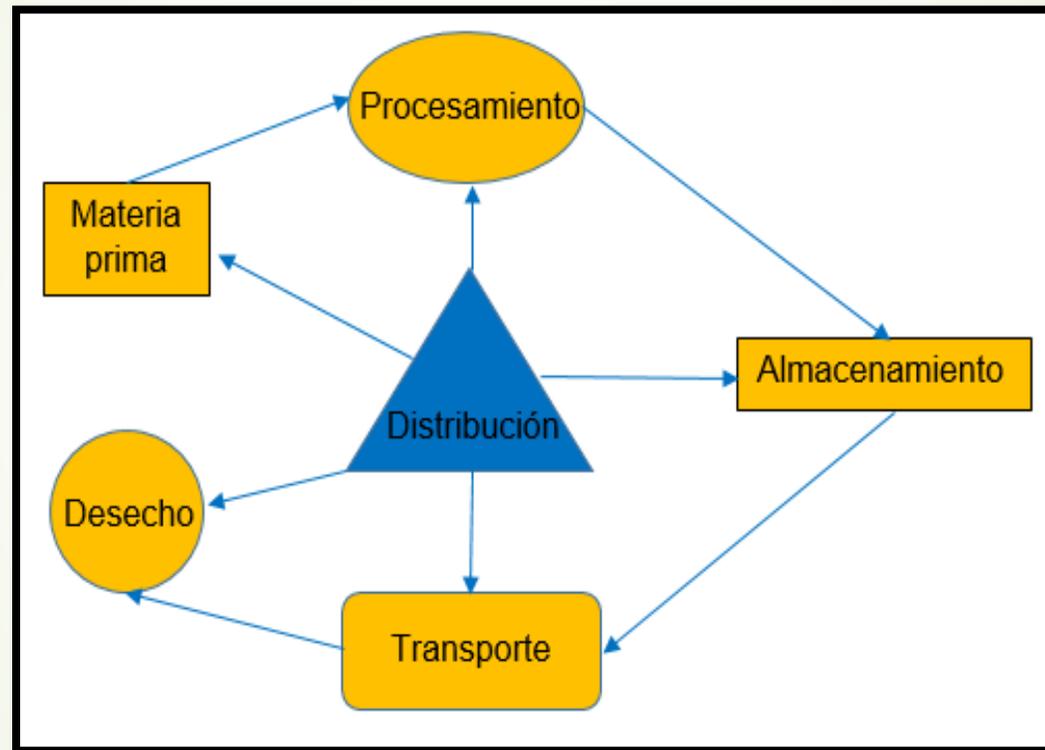
- ➔ Disposición de celda en línea.



- ➔ Disposición de celda en U.



➤ Disposición de celda en anillo.



COMPONENTES

Máquinas CNC.

Una máquina herramienta de control numérico, se utiliza para dar forma a materiales sólidos, principalmente metales. Su característica principal es su falta de movilidad, ya que suelen ser máquinas estacionarias.



Robot Industrial.

Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas (Asociación de Industrias Robóticas- RIA).



Bandas transportadoras.

Es un sistema de transporte continuo que se mueve entre dos tambores. La banda es arrastrada por fricción por uno de los tambores, que a su vez es accionado por un motor. El otro tambor suele girar libre, sin ningún tipo de accionamiento, y su función es servir de retorno a la banda.

Tipos de bandas transportadoras.

- ✓ Plana.
- ✓ Malla metálica.
- ✓ Modulares.
- ✓ De goma.
- ✓ PVC y PU.



Sistema de visión artificial.

Los elementos básicos de un sistema de visión artificial son:

- ✓ El sistema de iluminación.
- ✓ La cámara de captura de imagen.
- ✓ Tarjeta de captura de elevado ancho de banda.
- ✓ Procesamiento de imagen.
- ✓ Sincronía con el proceso.

CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

Es un dispositivo de estado sólido, basado en microprocesadores que permite el control secuencial en tiempo real de una máquina o proceso.

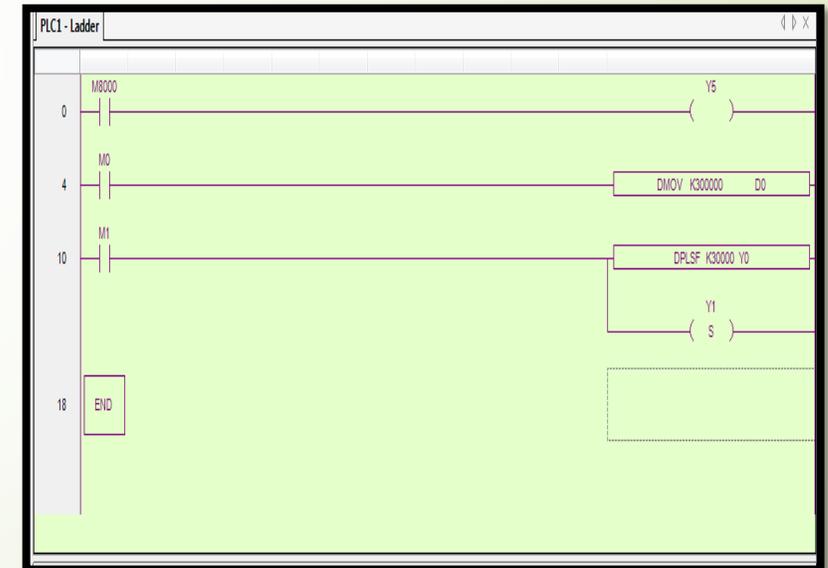


LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN

➔ Lista de instrucciones.

PLC1 - Instruction List		
0	LD	M8000
2	OUT	Y5
4	LD	M0
6	DMOV	K300000 D0
10	LD	M1
12	DPLSF	K30000 Y0
16	SET	Y1
18	END	

➔ Ladder (forma de diagrama de escalera).





VISIÓN ARTIFICIAL

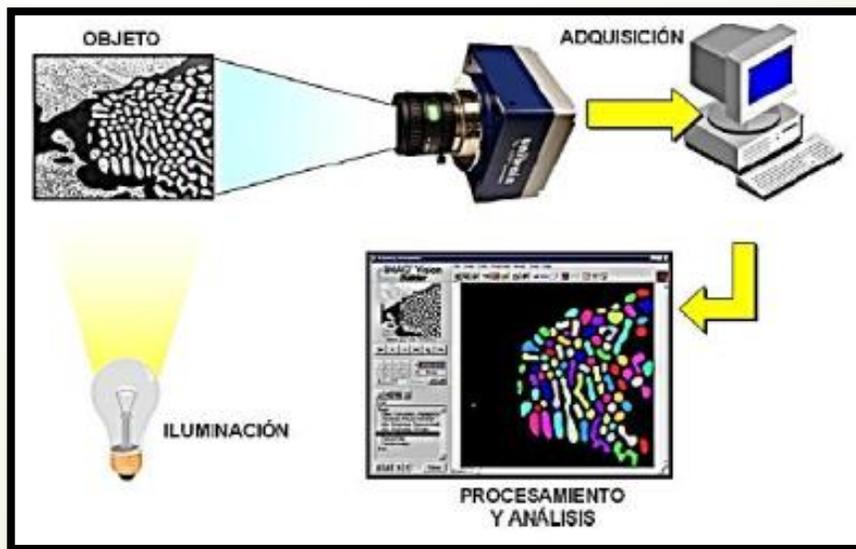
La visión artificial, permite programar un computador para que "entienda" una escena o las características de una imagen.

PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

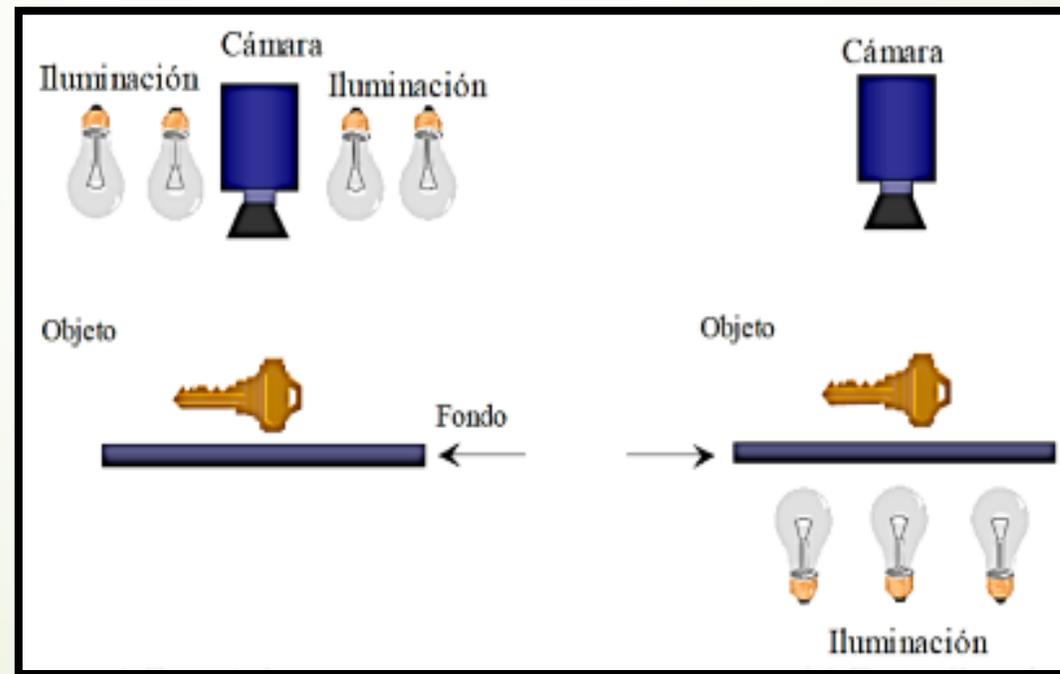
El procesamiento digital de imágenes es un conjunto de técnicas que se aplican a las imágenes digitales con el objetivo de mejorar la calidad o facilitar la búsqueda de información.

Componentes del sistema PDI (tratamiento, procesamiento y análisis).

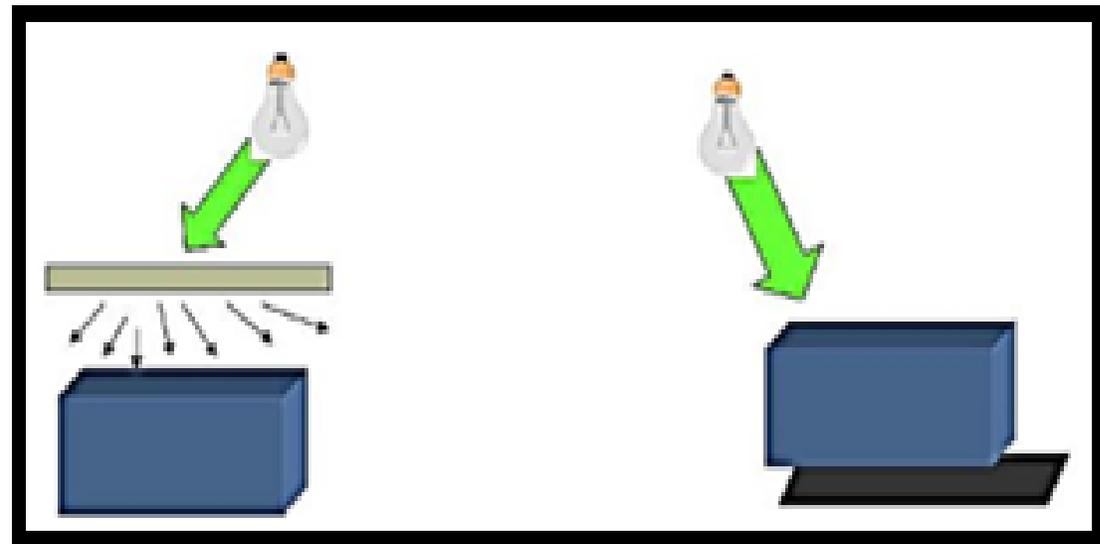
Cuando se trabaja con imágenes se debe tomar en cuenta una serie de conceptos y de pasos, para lograr un mejor desempeño del sistema de reconocimiento. Por ejemplo, las variaciones de luz o la adición de ruido a reconocer las imágenes, pueden presentar dificultades al sistema.



Al desarrollar un sistema de adquisición de imágenes se debe buscar que la iluminación contraste con el objeto y el fondo para su óptima localización; se debe eliminar en lo posible reflejos y factores ambientales como: la luz del día, polvo, vibración, etc.



Existen distintas técnicas de iluminación. La iluminación de una sola fuente llamada también directa y la iluminación desde múltiples direcciones llamada también difusa. Esta última es la más recomendada ya que elimina sombras al contrario de la iluminación directa que las produce.

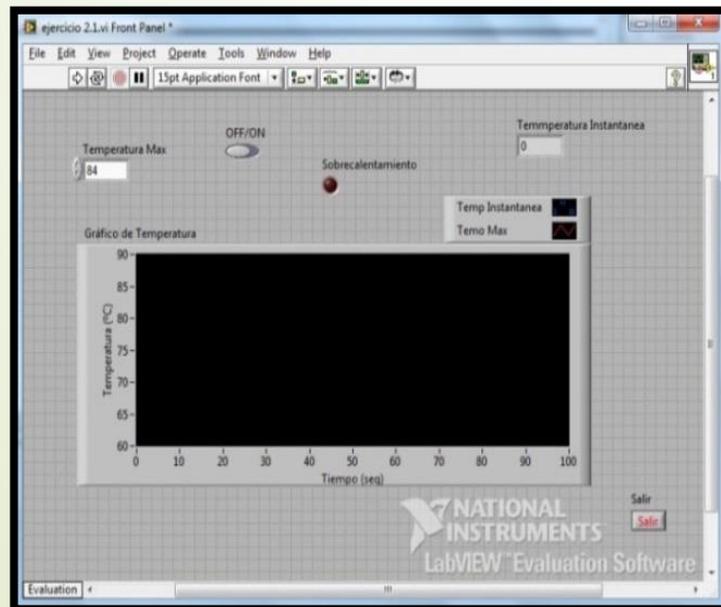


a) Difusa.

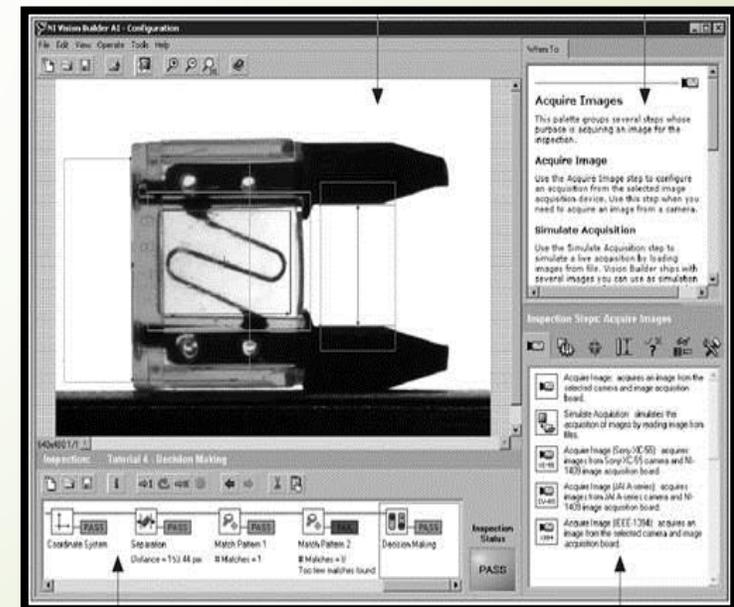
b) Directa.

SOFTWARE DE ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

➔ LabVIEW de national instruments.

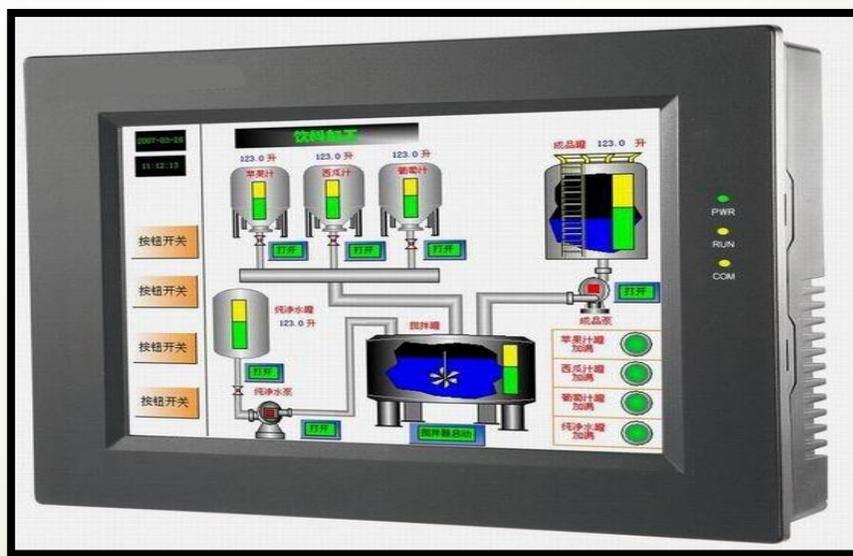


➔ Vision Builder AI para inspección automatizada



INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA (HMI).

Un interfaz humano máquina HMI, es un mecanismo que permite a un operador humano interactuar con una máquina o proceso y determinar el estado (prendido/apagado) o magnitud de los dispositivos y/o variables físicas que están presentes en una planta o proceso industrial.





FUNCIONES.

- ✓ Monitoreo.
- ✓ Supervisión.
- ✓ Generación de alarmas.
- ✓ Control.
- ✓ Generación de históricos.



CAPÍTULO II

DISEÑO, SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA DE MANUFACTURA



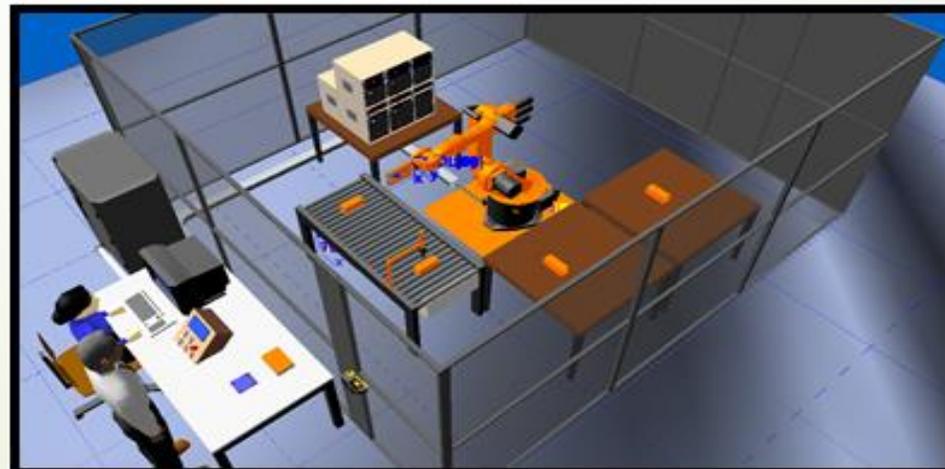
PARÁMETROS DE DISEÑO

- Seleccionar el tipo de materia prima.
- Implementar dos bandas transportadoras con el objetivo de crear una red Ethernet.
- Implementar en una de las bandas transportadoras el sistema para el control de calidad y determinar su velocidad de movimiento.
- Un control de calidad eficiente, que permita capturar la imagen superior y lateral de la pieza mecanizada; para analizarla mediante el procesamiento digital de imágenes.
- Determinar un rango de tolerancia de 1mm como máximo en los parámetros del software de las piezas que pasan el control de calidad.

- Dimensionar el área de trabajo.

<i>Dimensiones (mm)</i>	
<i>Largo</i>	5430
<i>Ancho</i>	4970

- Implementar una celda de manufactura con una configuración en anillo.





DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES

- Brazo robótico industrial, que soporte un peso mínimo de 5000 gr, tenga un alcance de trabajo mínimo de 1500 mm, tenga 6 grados de libertad y pueda soportar la comunicación de entradas/salidas digitales.
- Mini centro de mecanizado, que pueda mecanizar materiales blandos, tenga un recorrido en el eje X, Y y Z de mínimo 110 mm y se pueda comunicar con otros equipos a través de entrada/salidas digitales.

- 
- Bandas transportadoras planas, diseñadas para manipular su velocidad y posición; que estén controladas mediante un PLC que soporte módulos de extensión para aumentar entradas/salidas digitales y módulos para red ethernet y permita la conexión de una touch panel.
 - Un sistema de visión artificial tanto en hardware como software, que permita procesar las imágenes con las características mencionadas en el diseño.
 - Dos cámaras, las cuales permitan capturar la imagen lo más nítida posible y principalmente sean compatibles con el sistema de visión artificial.
 - Software de CAD y CAM, para el diseño y mecanizado de la pieza a ser analizada por el control de calidad.

EQUIPOS DISPONIBLES EN EL LABORATORIO

Brazo robótico industrial.

El brazo robótico industrial KUKA KR 16, se acopla a la necesidad de los parámetros.



Mini centro de mecanizado.

El mini centro de mecanizado ExpertMill VMC - 600, cumple con los parámetros de diseño.



Los parámetros que debe cumplir el mini centro de mecanizado se describe a continuación:

- Selección del tipo y dimensiones de la materia prima.



<i>Dimensiones (mm)</i>	
<i>Largo</i>	100
<i>Ancho</i>	100
<i>Espesor</i>	40

- La pieza a ser mecanizada no debe exceder el recorrido de los ejes X, Y, Z; es decir, que el material deberá estar dentro de las dimensiones de los ejes que se muestran en la siguiente tabla.

<i>EJES</i>	<i>DIMENSIONES</i>	
<i>Eje X</i>	304 mm	12"
<i>Eje Y</i>	152 mm	6"
<i>Eje Z</i>	241 mm	9.5"

- Se debe considerar la repetibilidad con la que trabaja el centro de mecanizado para obtener la pieza lo más exacta posible.

<i>EXACTITUD</i>	<i>DIMENSIONES</i>	
<u><i>Repetibilidad</i></u>	0.0127 mm	(0.0005")

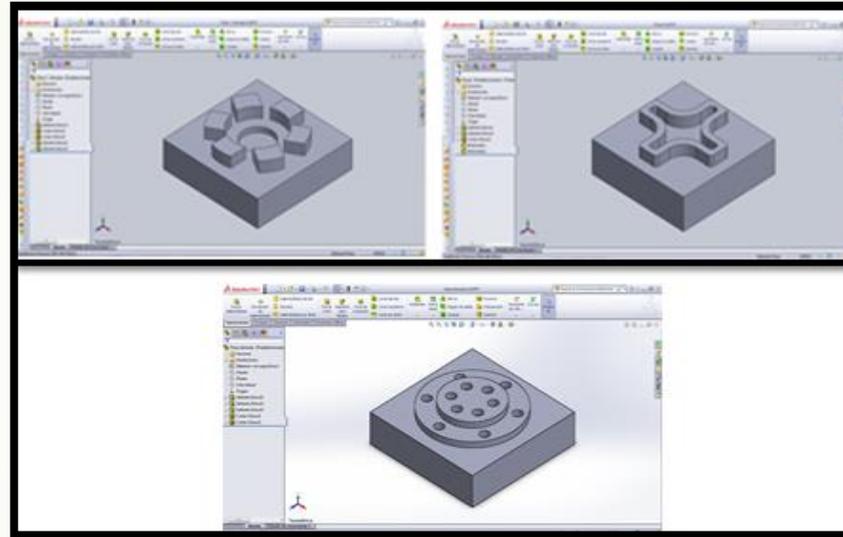
- En función del material de la pieza a ser mecanizada, se debe buscar junto al fabricante de la herramienta los datos de velocidad de corte y avance.

- El mini centro de mecanizado, se encuentra cargado por una herramienta de corte en el ATC, cuyo fin es mecanizar la pieza.

# ATC	Herramienta	Dimensiones	# Filos	Material
1	<u>End mill</u>	Filo 1/4" (6,35 <u>mm.</u>)	4	HSS

- La máxima altura que permite desbastar en los contornos del material es de 12 mm.
- Se diseñaron tres modelos diferentes de piezas tanto en forma como tamaño, con el fin de realizar el control de calidad. El proceso que se usó para su diseño, es el siguiente:

- ✓ Mediante el software SolidWorks se dibujó cada una de las piezas con sus respectivas medidas.



Banda transportadora plana.



Los componentes que forman parte de la banda transportadora son:

- Estructura metálica de acero inoxidable.
- PLC “XC3-48RT-E Series”, Marca Xinje.
- Módulo de señales analógicas “XC-E4AD2DA Series”, Marca Xinje.

- 
- 
- Módulo Industrial Ethernet “T-BOX Series”, Marca Xinje.
 - Servo Drive “DA98B-05 Series”, Marca GSK.
 - Servo Motor “80SJT-M024C Series”, Marca GSK.
 - Reductor “TCM 063 Series”, Marca Transtecno.
 - Sensor Foto Eléctrico “PE-M3D Series”, Marca Hanyoung.
 - Sensor Inductivo “UP18RLD-8NA Series”, Marca Hanyoung Nux.
 - Touch Panel “TH Series”, Marca TouchWin.

Sistema de control de calidad.

El sistema embebido de visión en tiempo real NI EVS-1464RT, es un controlador robusto diseñado para procesar imágenes en tiempo real.



El EVS está sincronizado con el Bloque Terminal de E/S (NI Vision I/O), para habilitar entradas y salidas digitales, permitiendo una comunicación con el PLC de la banda transportadora y obteniendo una inspección más compleja y de más alta velocidad.



Fuente de alimentación.

La fuente de alimentación NI PS – 15, funciona con una entrada de 115/230V AC de 1 fase, salida de 24 a 28V DC, 5 A. Es la fuente de alimentación para el EVS y el bloque terminal de E/S.



Cámara Basler Scout Gigabit Ethernet.

El proyecto consta de dos cámaras Basler scout gigabit ethernet scA640 – 70gc, las que se han determinado para el proceso de control de calidad; cuyo objetivo es adquirir las imágenes y determinar si la forma y tamaño de la pieza es la que se estableció previamente en el diseño de la pieza.



Cada cámara consta de un lente Computar FA Mega Pixel de la serie M0814-MP2, los cuales permiten una captura completa de la imagen, controlar la intensidad de luz y el iris de la imagen (zoom); facilitando el procesamiento de imágenes.



Limitaciones del sistema de control de calidad.

- ✓ El procesamiento de imágenes solo puede analizar imágenes en 2D.
- ✓ La pieza mecanizada debe ser de un color diferente al de la superficie donde se encuentra ubicada, debido a que al momento de extraer los colores RGB no se puede diferenciar los bordes de la pieza con respecto a la superficie y esto dificulta el análisis.
- ✓ Se debe utilizar material que no sea brillante, ya que otros materiales como el aluminio y acero poseen un brillo intenso que dificultan el procesamiento de la imagen.

- 
- ✓ El control de calidad al procesar las imágenes se limita al análisis de ciertos parámetros, como son:

Número de objetos.

Análisis de distancias entre bordes, puntos y figuras geométricas.

Clasificación de colores.

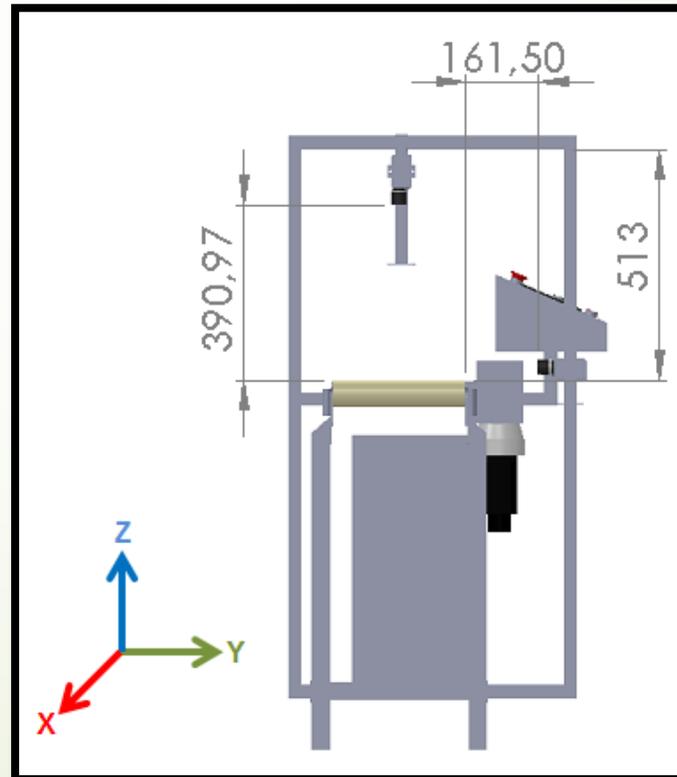
Clasificación de objetos.

Identificación de textura de un material.

Identificación de texto y código de barras.

DISEÑO DEL SOPORTE PARA LAS CÁMARAS

Para el diseño del soporte y ubicación de las cámaras, se tomó en cuenta el ángulo de visión y la distancia focal de los equipos junto con los lentes.



➤ Cámara vertical.

En la Tabla, se detallan las dimensiones máximas que puede capturar el equipo vertical en el plano X-Y.

<i>Imagen</i>	<i>Dimensiones (mm)</i>
<i>Eje X</i>	208
<i>Eje Y</i>	160

➤ Cámara Horizontal.

La siguiente tabla detalla las dimensiones máximas que puede capturar éste equipo en el plano X-Z.

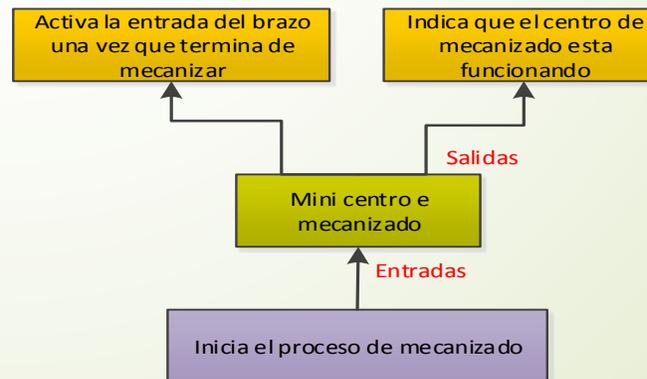
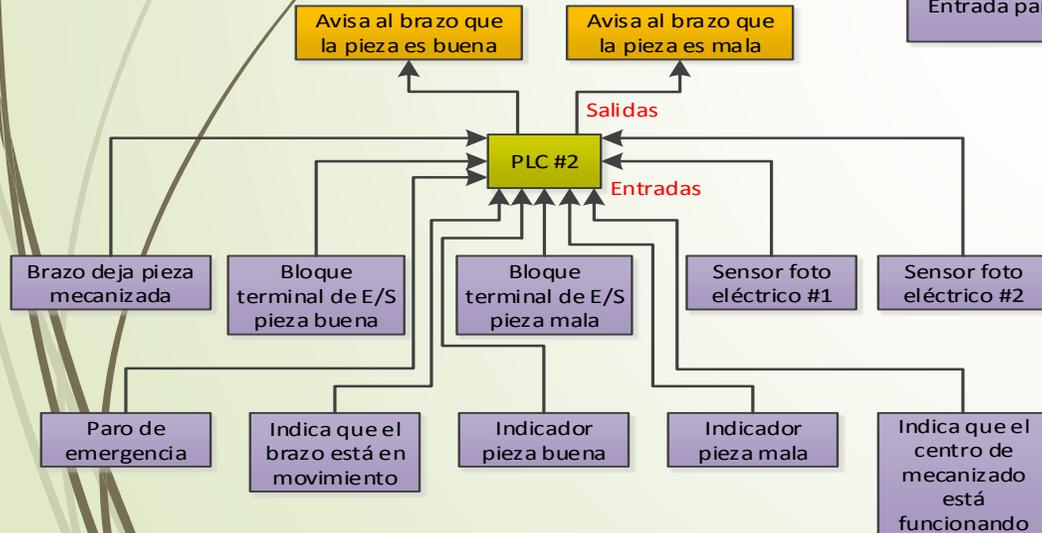
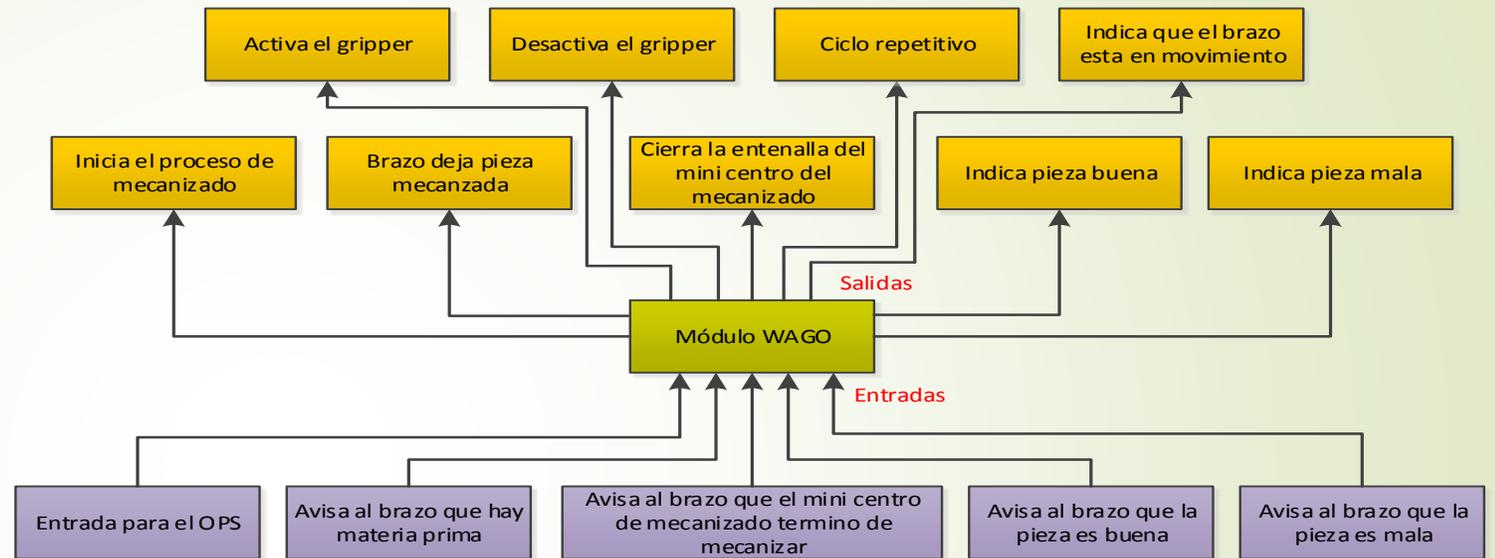
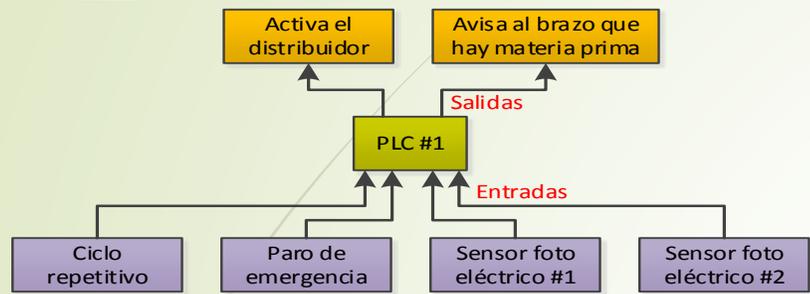
<i>Imagen</i>	<i>Dimensiones (mm)</i>
<i>Eje X</i>	220
<i>Eje Z</i>	165

DISEÑO DEL MÓDULO DE SISTEMA DE VISIÓN

El módulo, se fabricó de acuerdo al número y dimensiones de los equipos, tomando en cuenta la facilidad de manipulación del usuario.



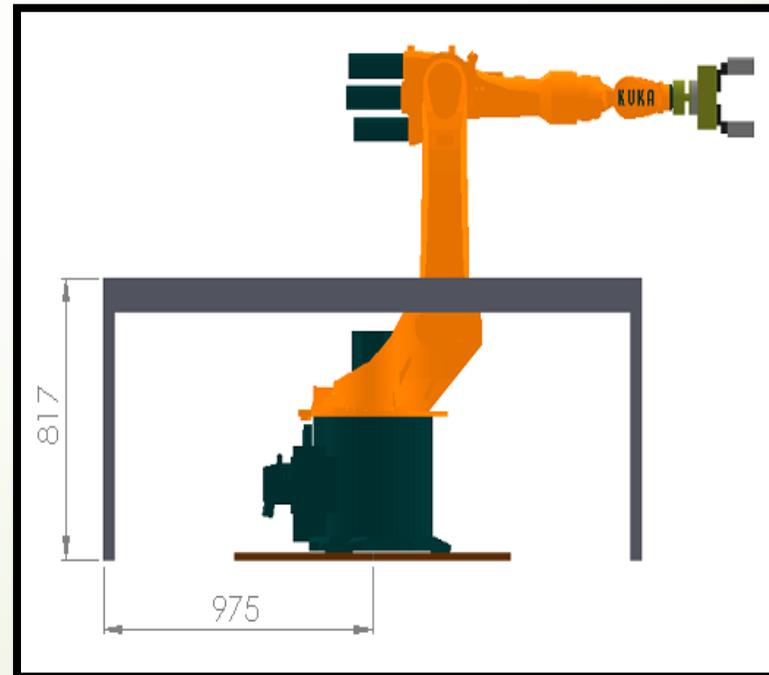
REQUERIMIENTOS TÉCNICOS



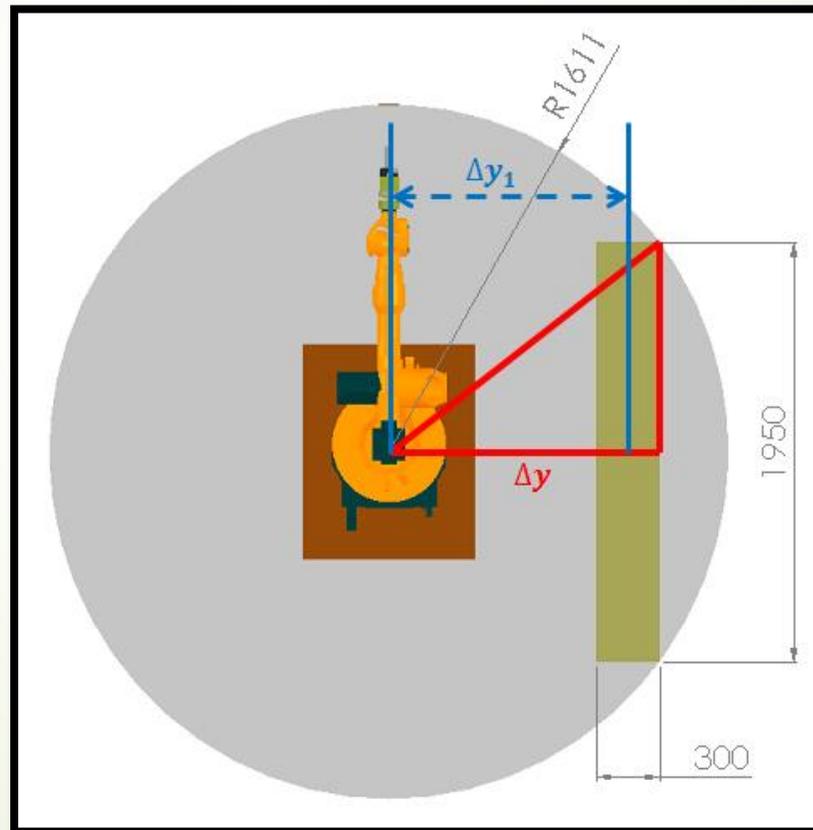
MONTAJE DE EQUIPOS

► Montaje de las bandas transportadoras.

La banda transportadora se acopló a una distancia media del brazo, para que tenga un alcance de trabajo óptimo y así pueda llegar a cada área de la banda sin ningún problema.



Para conocer cuál es la distancia a las que se ubicó las bandas, se tomó en cuenta el alcance radial del brazo, para el análisis se consideró que el brazo trabajará a su máximo alcance como se indica en la Figura 2.19.



A continuación se muestra el cálculo para determinar la variable Δy_1 , que se considera el máximo alcance que debe hacer el brazo robótico para coger o dejar el material.

$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$r^2 = \Delta y^2 + (975 \text{ mm})^2$$

$$\Delta y = \sqrt{(1,611 \text{ mm})^2 - (975 \text{ mm})^2}$$

$$\Delta y = 1,282.457 \text{ mm}$$

$c = r =$ Radio del campo de trabajo del brazo.

$a = \Delta y =$ Distancia del centro del brazo al extremo de la banda.

$b =$ Distancia media de la banda.

$$\Delta y_1 = \Delta y - 150 \text{ mm}$$

$$\Delta y_1 = 1,282.457 \text{ mm} - 150 \text{ mm}$$

$$\Delta y_1 = 1,132.457 \text{ mm}$$

$\Delta y_1 =$ Distancia del centro del brazo al centro del extremo de la banda

Para el proyecto se determinó una distancia del 75%, con el fin de que el brazo robótico no alcance su máximo recorrido, puesto que se corre el riesgo de accionar el STOP por limitación de ejes. Y otro aspecto es que la banda no se vea afectada por la canaleta metálica que se encuentra anclada al piso.

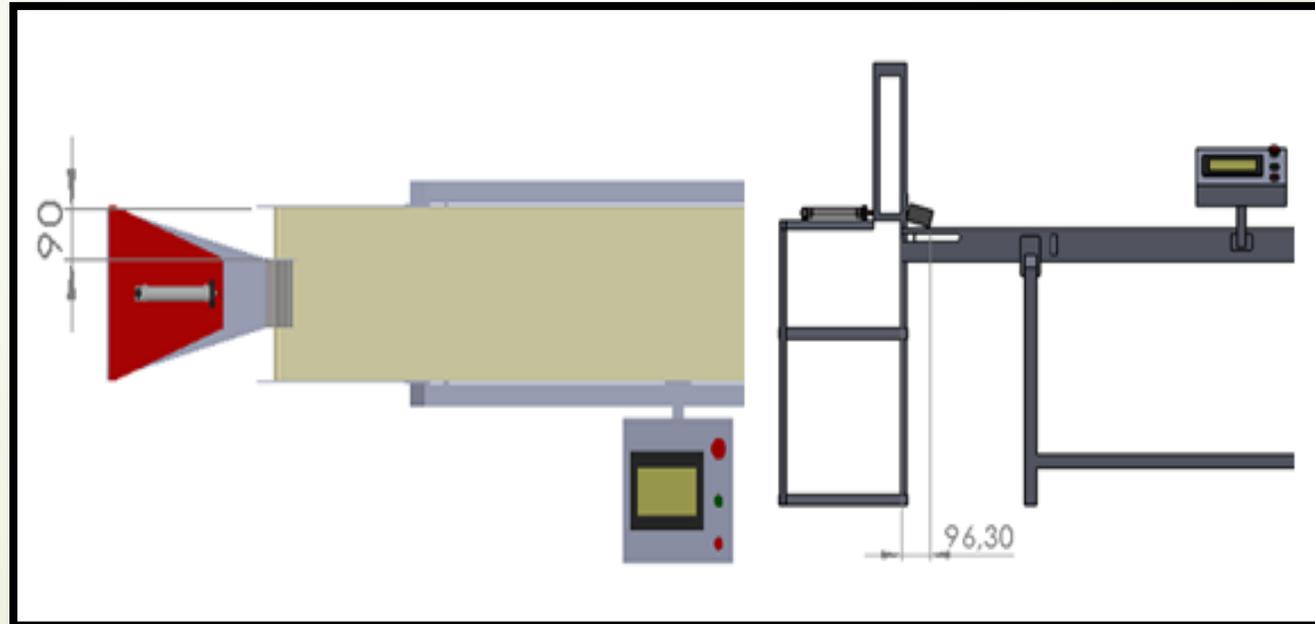
1,132.457	100%
Δy_{ideal}	75%

$$\Delta y_{ideal} = 849.34 \text{ mm}$$

Δy_{ideal} = Distancia ideal de las bandas transportadoras.

► Montaje del distribuidor de materia prima.

Uno de los aspectos principales para ubicar el distribuidor de materia prima, es que al momento de expulsar la materia prima lo haga por la mitad de la banda, ya que así el gripper no colisionará con las barras laterales de la banda o con los sensores.

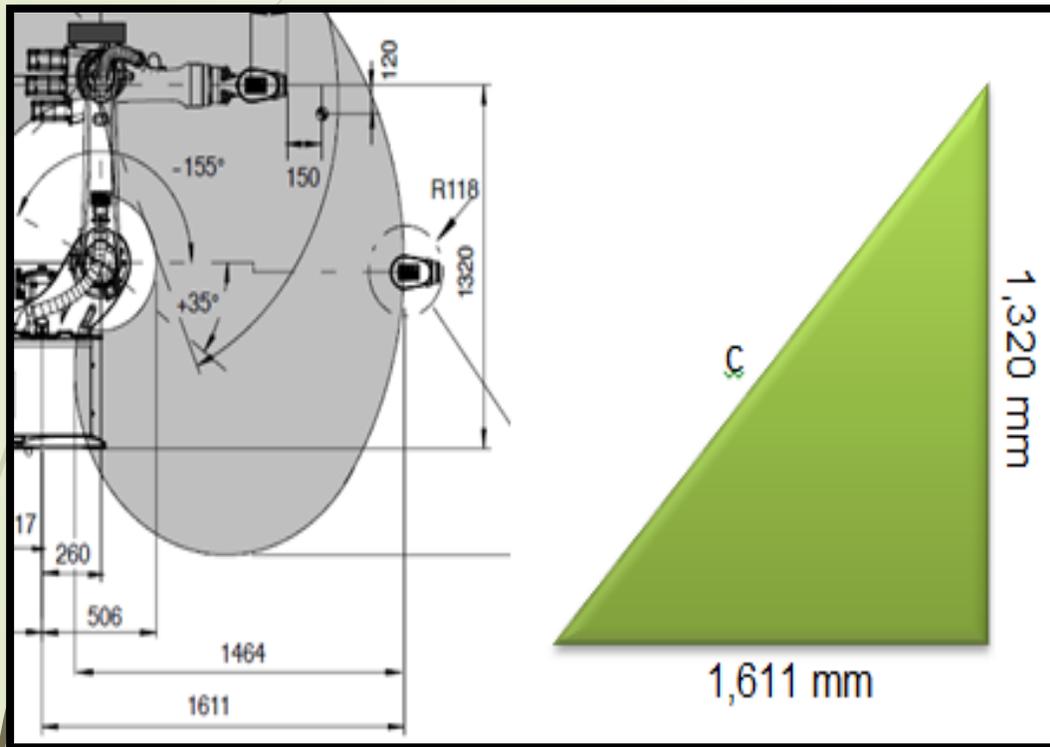




➤ **Montaje del mini centro de mecanizado.**

Para la ubicación del mini centro de mecanizado, se tomó en cuenta el campo de trabajo del brazo robótico en el eje X; se acopló a una distancia donde el brazo alcance con facilidad a colocar y retirar el material cuando el centro de mecanizado esté en el HOME máquina.

Para calcular el máximo alcance de trabajo a la que el brazo puede llegar se formó un triángulo rectángulo, con los siguientes cálculos:



$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$c = \sqrt{(1,611 \text{ mm})^2 + (1,320 \text{ mm})^2}$$

$$c = 2,082.71 \text{ mm}$$

c = Máximo alcance de trabajo (eje X).

a = Distancia en X.

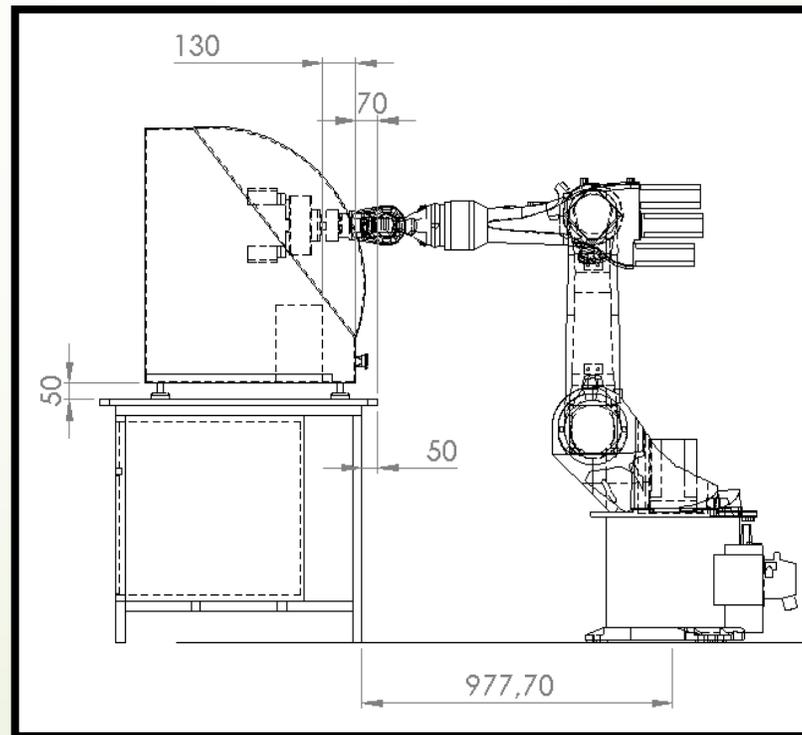
b = Altura.

1,611	100%
a_{ideal}	70%

$$a_{ideal} = 1,127.7 \text{ mm}$$

a_{ideal} = Distancia ideal para ubicar el centro de mecanizado.

Hay que tomar en cuenta que la distancia a_{ideal} , corresponde al HOME máquina del centro de mecanizado, donde se desea que el brazo llegue a colocar y retirar el material sin problemas. La siguiente figura indica las medidas del centro de mecanizado en la mesa y la distancia para colocar la mesa con respecto al robot.





A continuación se realiza el análisis matemático para determinar las distancias.

$$a_{\text{mesa}} = a_{\text{ideal}} - (200 \text{ mm} - 50 \text{ mm})$$

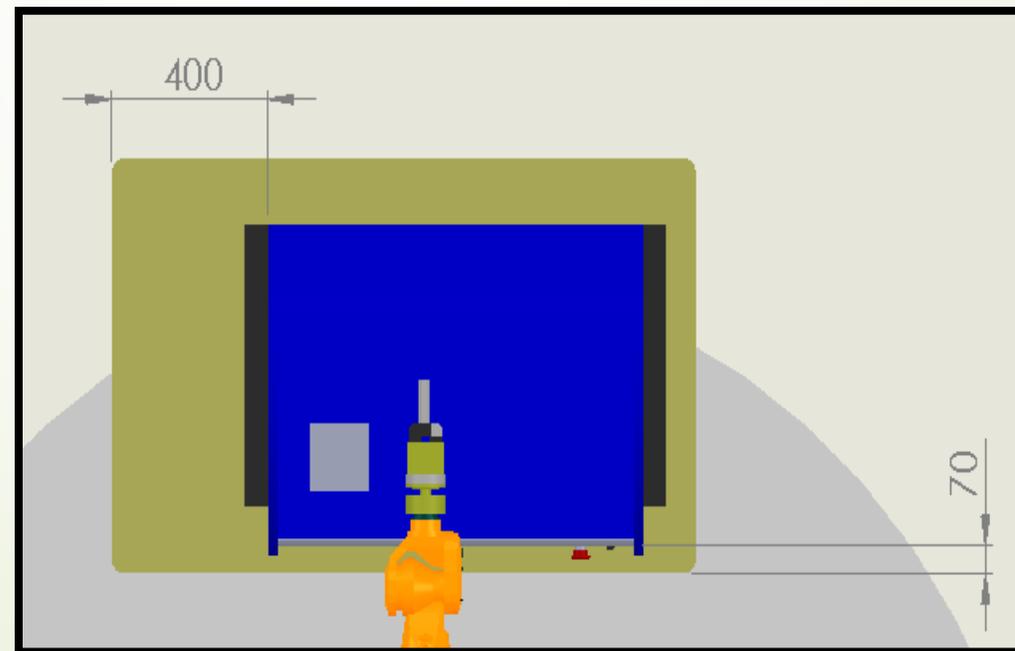
$$a_{\text{mesa}} = 1.127.7 \text{ mm} - (200 \text{ mm} - 50 \text{ mm})$$

$$\mathbf{a_{\text{mesa}} = 977.7 \text{ mm}}$$

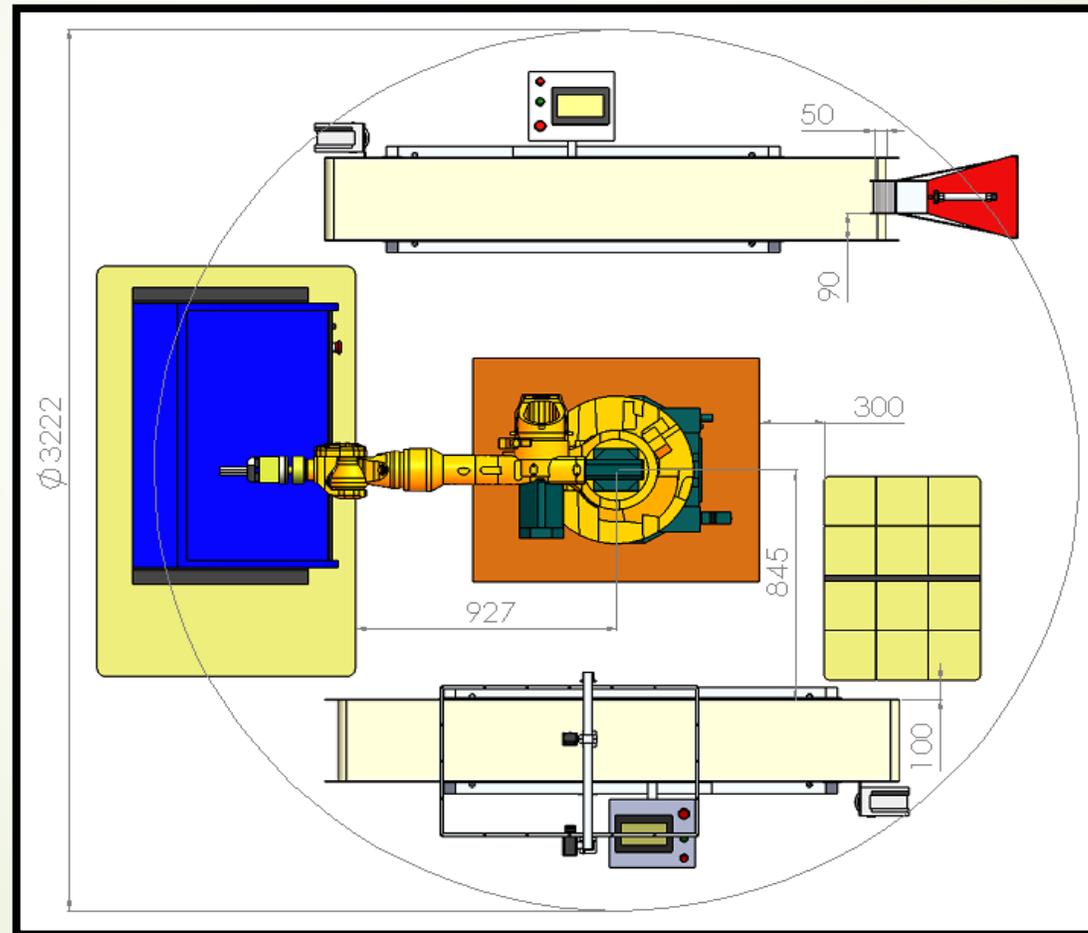
a_{mesa} = Distancia para ubicar la mesa del centro de mecanizado.

a_{ideal} = Distancia ideal para ubicar el centro de mecanizado.

El centro de mecanizado se ubicó frente al brazo robótico; para ello se tomó en consideración que las bandas transportadoras no pueden ser desplazadas debido a las medidas calculadas anteriormente; por lo que la mesa del centro de mecanizado se colocó a la mitad del brazo ya que así no se colisiona con las bandas. A continuación, se detallan las medidas del centro de mecanizado con respecto a la mesa.



Finalmente, se observa el montaje de los equipos dentro de la celda.



Módulo del sistema de visión.

Para la protección de los equipos se tomó en cuenta la instalación de fusibles y un breaker, considerando la carga total del sistema, en la siguiente tabla, se detalla las cargas de cada equipo.

Cargas de los equipos.

<i>Equipo</i>	<i>Carga (A)</i>
<i>Fuente de Alimentación NI PS - 15</i>	0.20
<i>Monitores</i>	0.30
<i>Cámaras</i>	0.04
<i><u>Switch</u></i>	0.04
<i>CPU</i>	0.04
<i>Adaptador AC/DC</i>	0.3
Carga total:	0.92



Trashorras (2009) explica que para un circuito de baja potencia, la selección del fusible y del breaker dependerá de la carga total del sistema, en éste caso es 0.92A pero como no existe en el mercado se elige el inmediato superior que es de 1A para los dos casos.



IMPLEMENTACIÓN DE LA CELDA DE MANUFACTURA

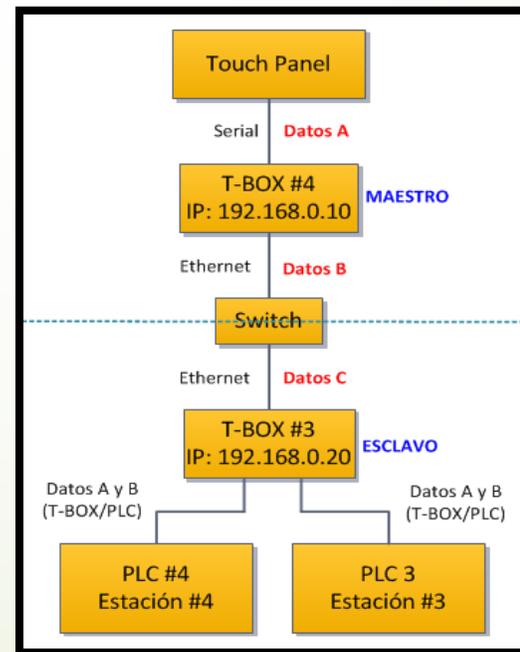
- **Conexiones físicas para las E/S de los PLC's.**



Red Ethernet.

Para realizar el HMI del proceso se implementó una red ethernet, para lo cual de necesitó de los siguientes equipos:

Para la interconexión se utiliza un switch, el cual permite la comunicación entre los dos módulos y un computador; este ayuda a configurar la red. La siguiente figura, indica el diagrama de conexiones de la red en la celda de manufactura. El switch trabaja a una velocidad de 10/100/1000Mbps, por lo que se utiliza tanto para los módulos T-BOX como para la conexión entre el EVS y las cámaras basler.

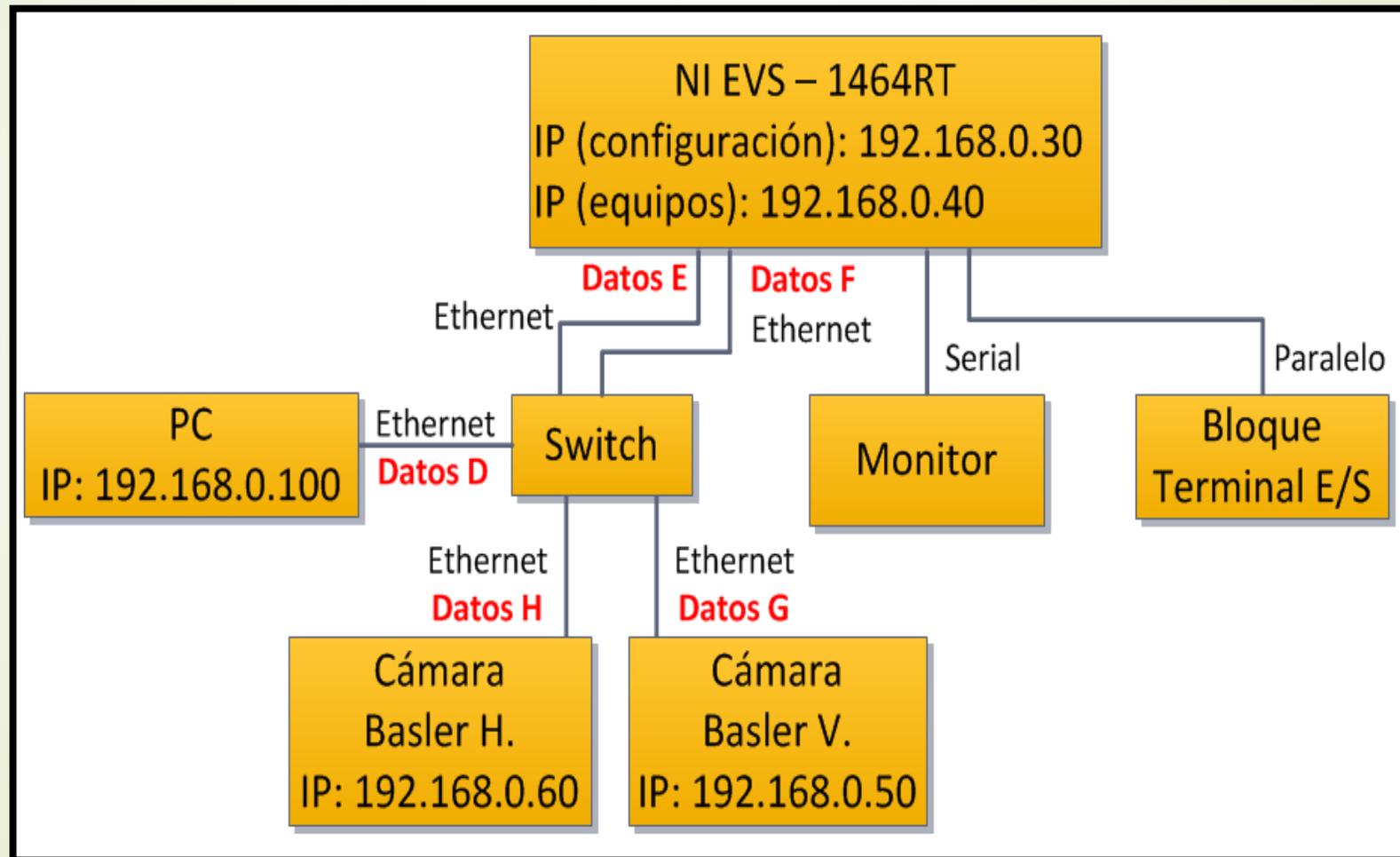


Touch panel

El proyecto consta de una touch panel TP760-T, la misma que es usada para el HMI del proceso de la celda de manufactura, la cual fue programada para el encendido/apagado del proceso, control de velocidad de las bandas transportadoras, monitoreo de los distintos sensores y actuadores y mensajes de información.



➔ Conexión física del EVS.



Estaciones de trabajo

➤ Estación de distribución.

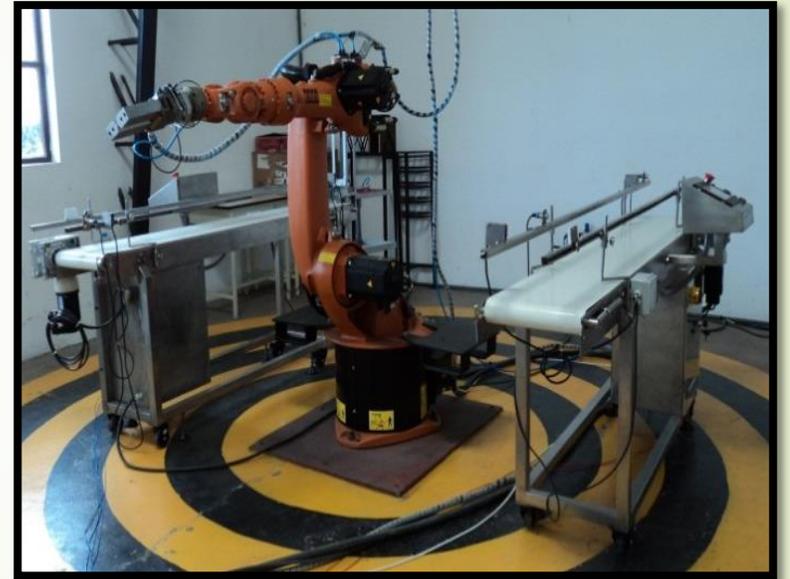
➤ Estación de mecanizado.



➤ **Estación de control de calidad.**



➤ **Estación de transporte.**



➤ **Estación de clasificación y almacenamiento.**



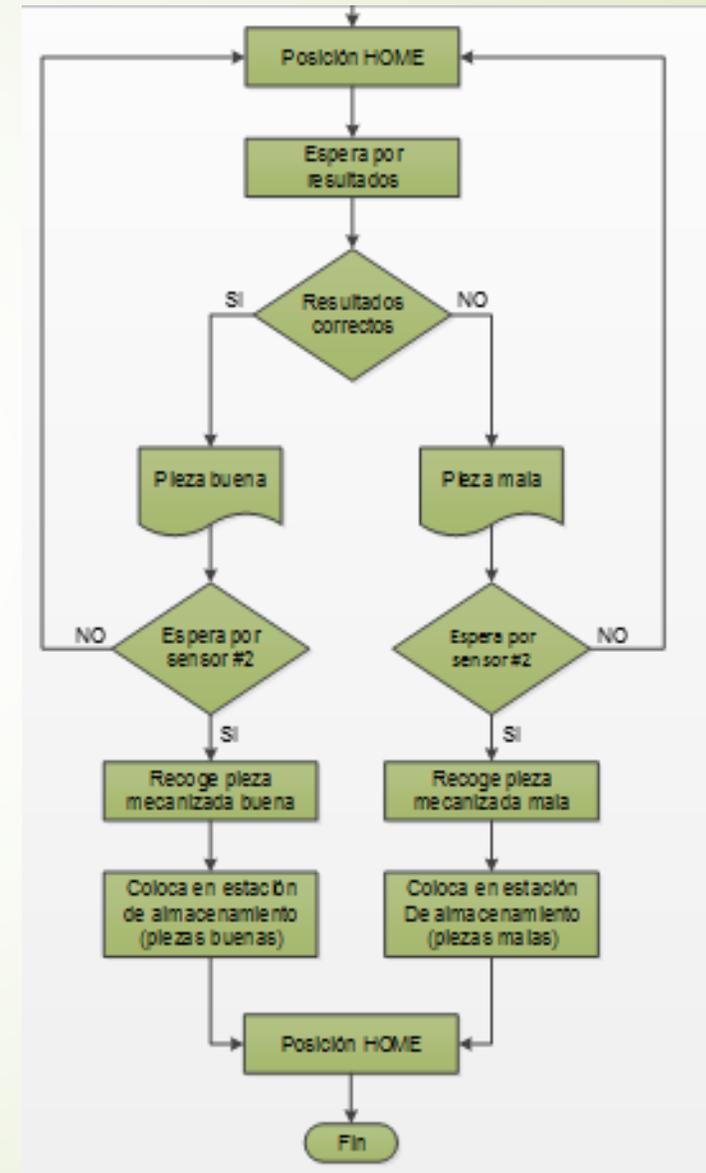
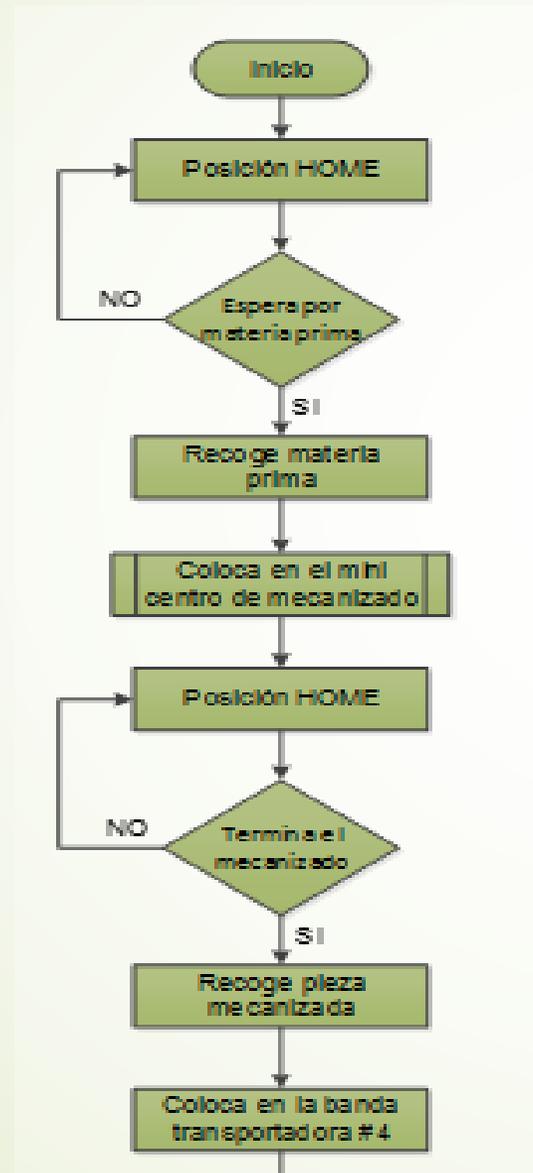


CAPÍTULO III

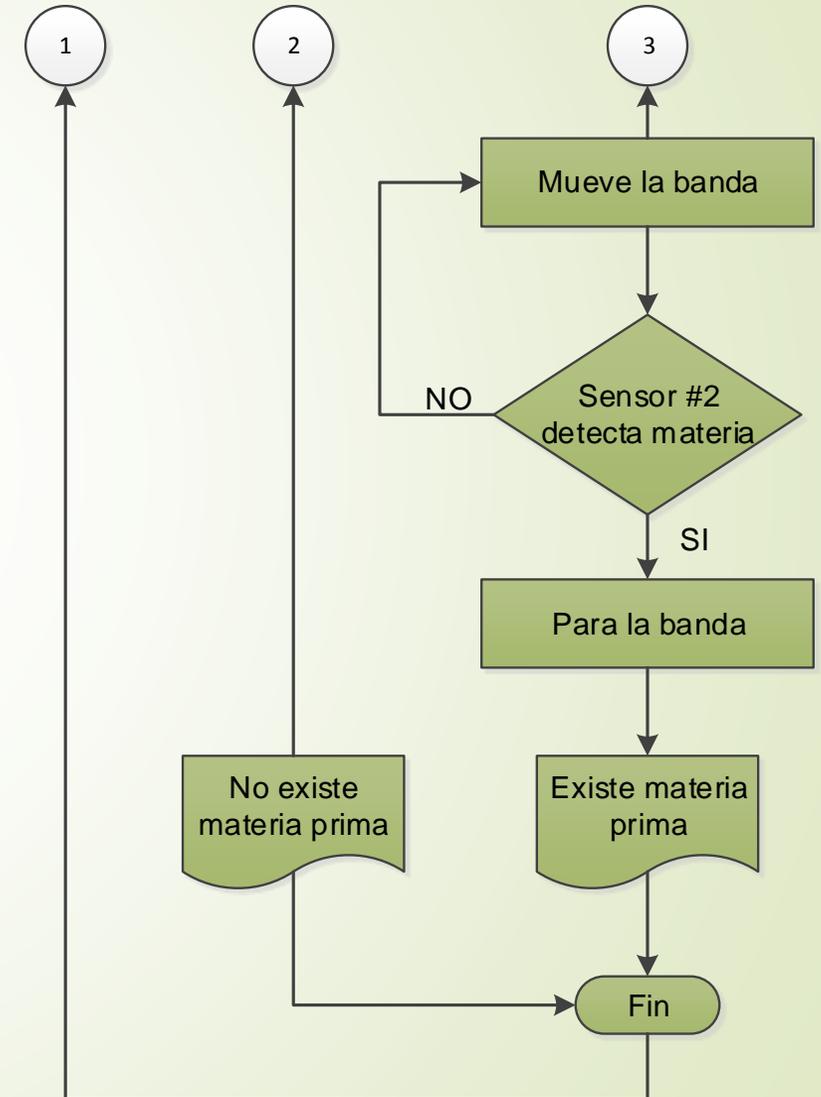
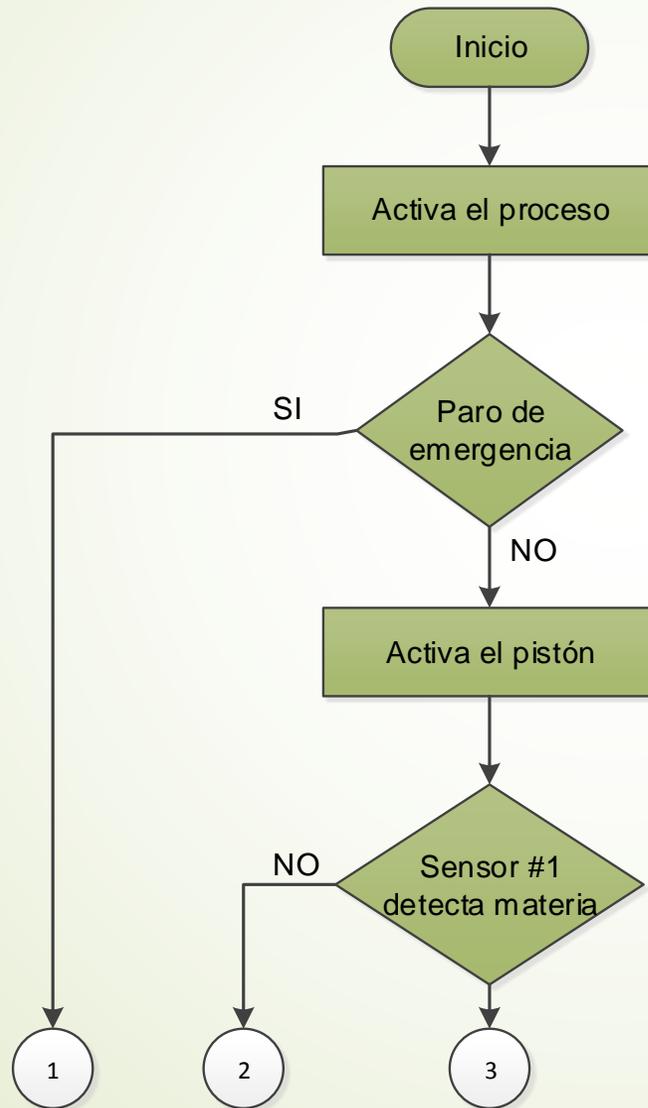
CONFIGURACIÓN DEL CONTROL DE LA CELDA DE MANUFACTURA



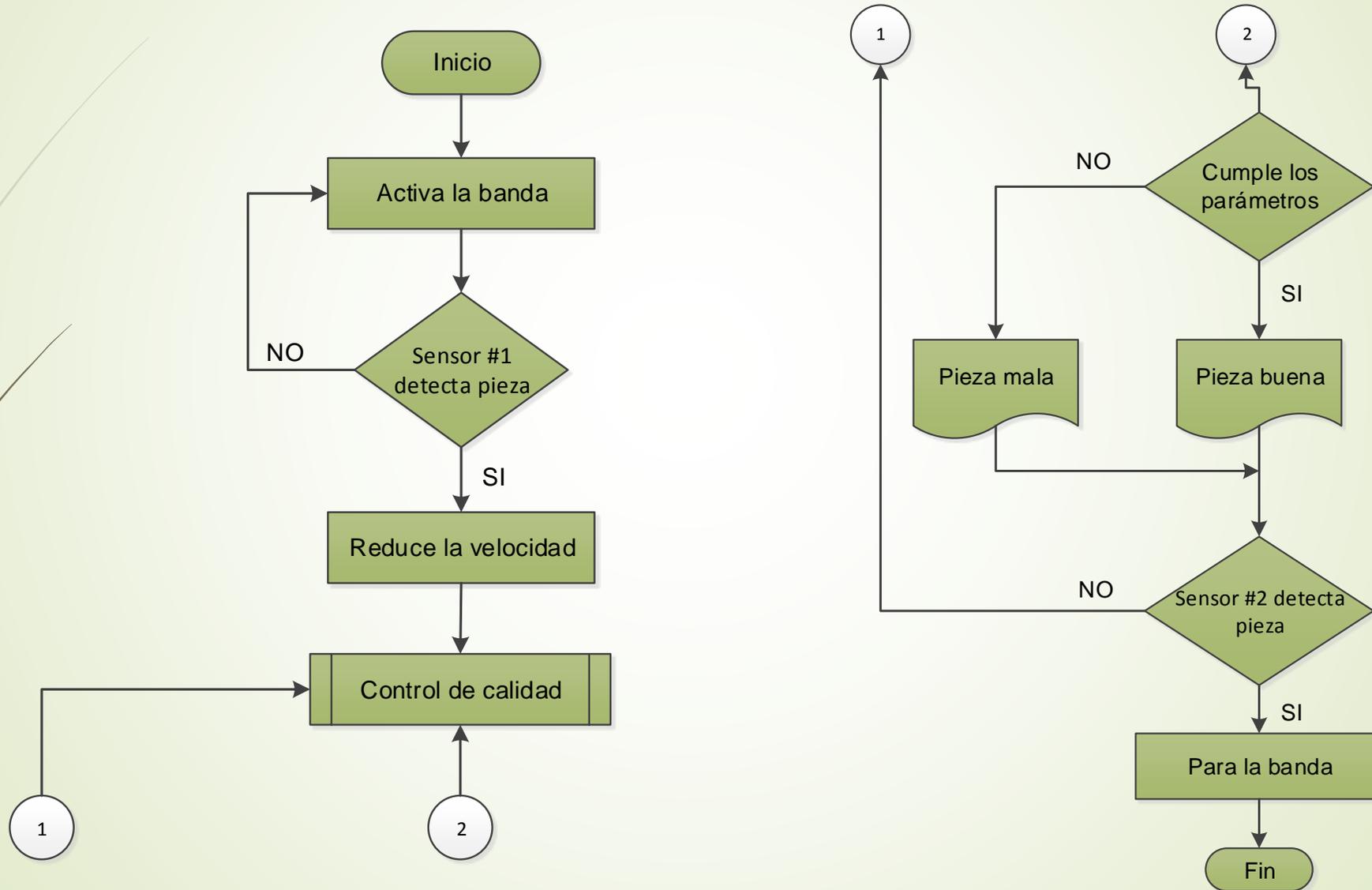
➔ Algoritmo de programación del brazo robótico.



Algoritmo de programación para la banda transportadora N.- 3.



Algoritmo de programación para la banda transportadora N.- 4.



PROGRAMACIÓN DEL CENTRO DE MECANIZADO

Para la programación del mini centro de mecanizado se incluyó en las líneas del programa códigos **G** y **M**, que ayudaran a activar las entradas y salidas de la máquina.

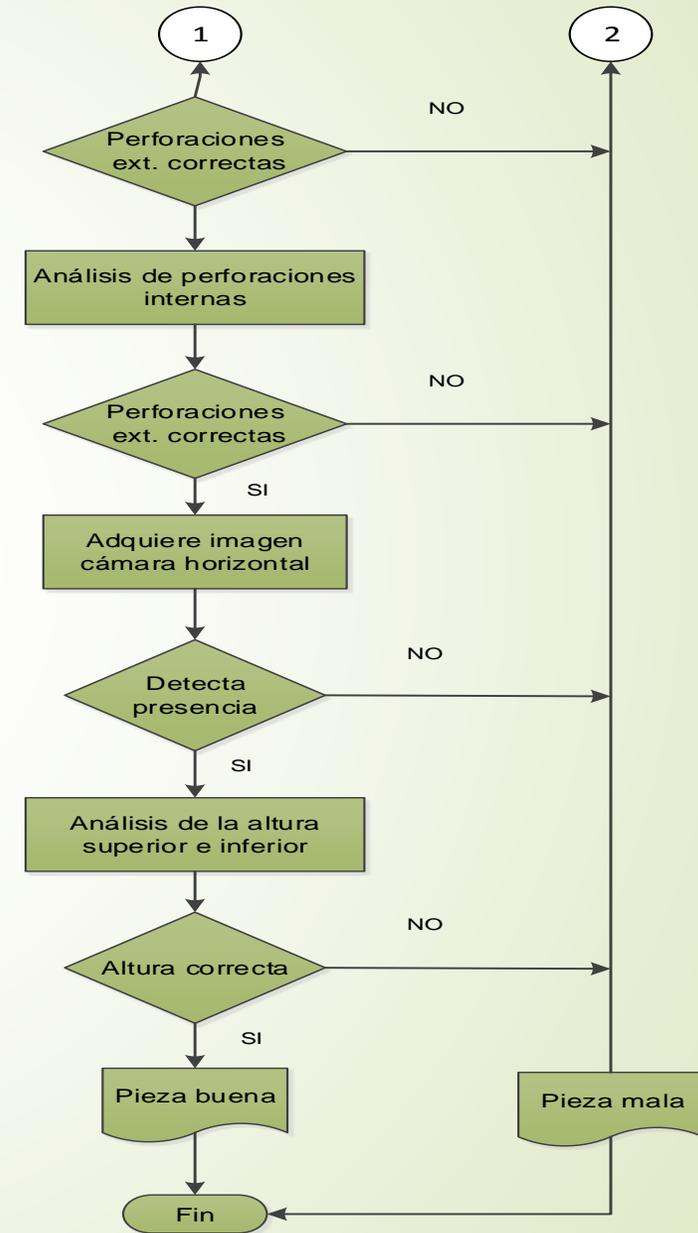
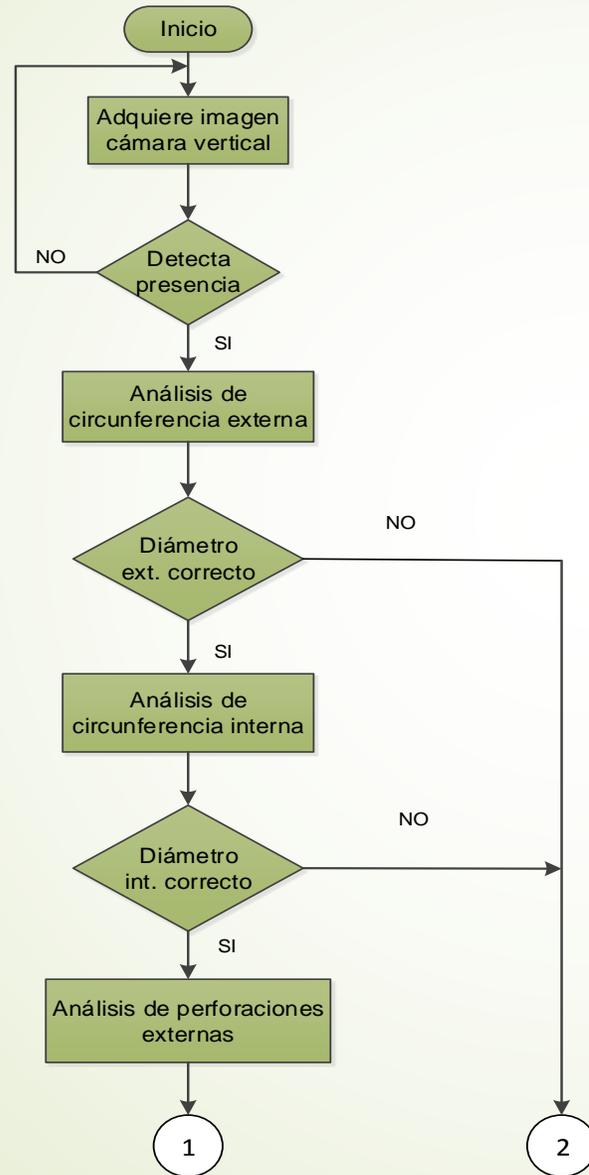
- El código **G25 H11**, espera por un pulso en alto de la entrada #1.
- El código **G26 H11**, espera por un pulso en bajo de la entrada #1.
- El código **M25 H11**, activa la salida #1.
- El código **M26 H11**, desactiva la salida #1.
- El código **M47 L2**, repite el programa las veces que se asigne al valor de L.

IMPLEMENTACIÓN DEL HMI EN LA CELDA DE MANUFACTURA

Se implementó un HMI a través de una touch panel, con el objetivo de facilitar el control de encendido/apagado del proceso, controlar la velocidad de las bandas transportadoras, monitorear el proceso en cada una de las estaciones de la celda de manufactura y obtener un registro numérico de datos.

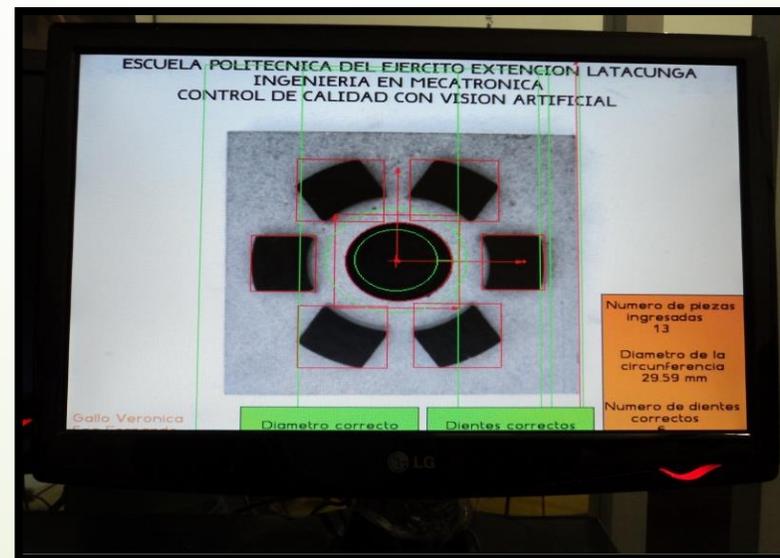


► Algoritmo para el control de calidad.



IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA DEL CONTROL DE CALIDAD

Para la interfaz humano-máquina del control de calidad se dispuso de un computador conectado al Sistema de Visión Embebido, en donde se podrá visualizar de forma real e instantánea lo que sucede con el sistema al momento de realizar el control de calidad de la pieza.





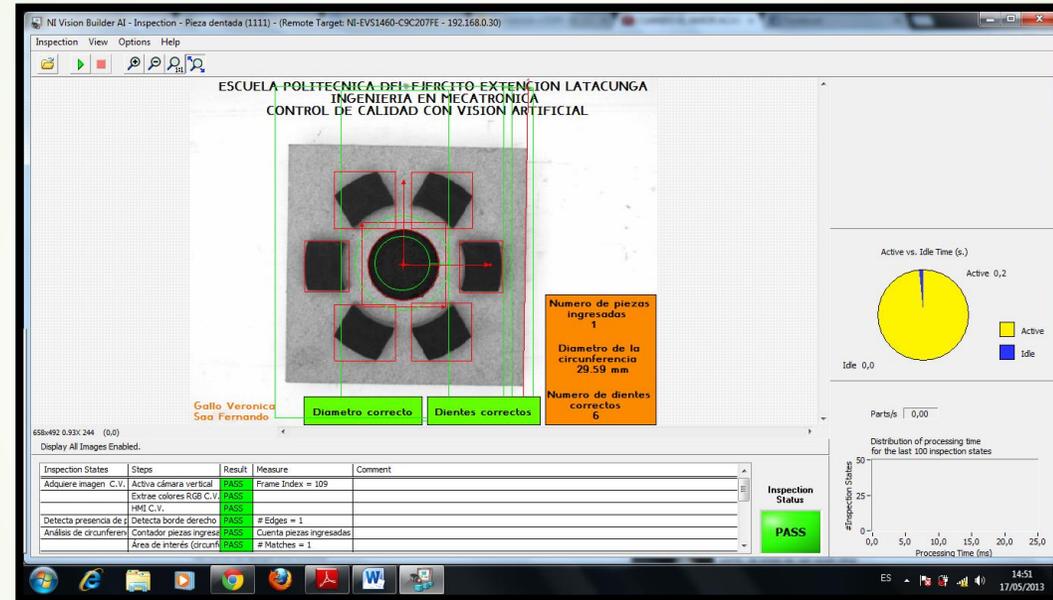
CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS



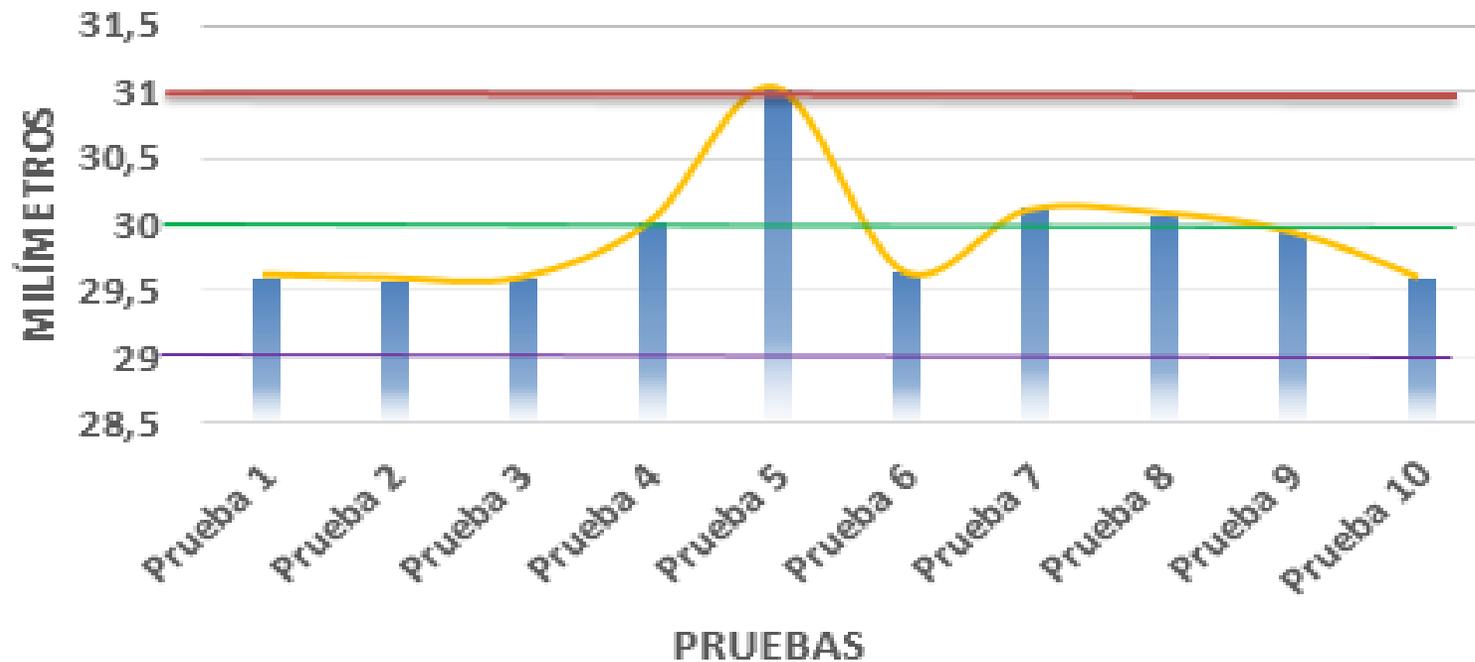
PRUEBAS DEL CONTROL DE CALIDAD.

Pieza dentada.



Para la realización de esta prueba se hizo un análisis del diámetro real con respecto al diámetro dado por el software de la pieza.

PRUEBAS DEL DIÁMETRO DE LA CIRCUNFERENCIA



Polígono de frecuencia

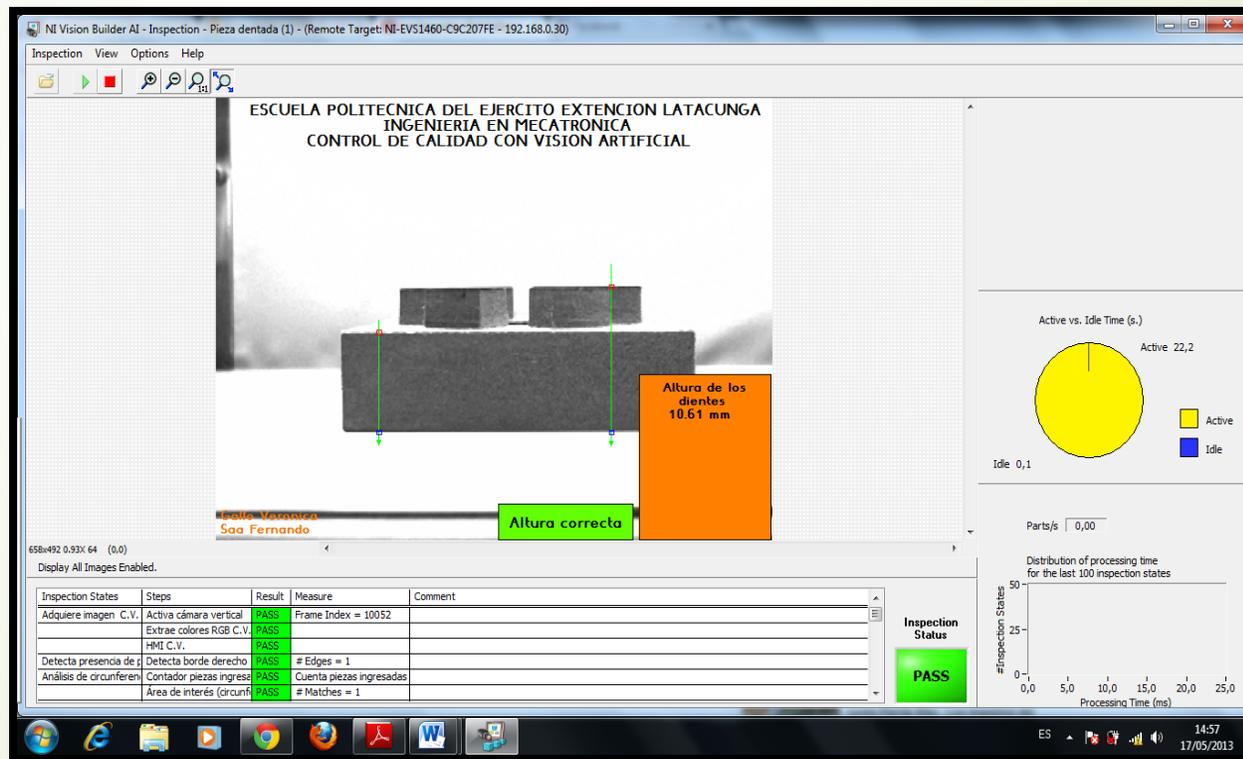
Valor real del diámetro de la circunferencia 30mm.

Valor máximo del diámetro (31mm) establecido por software.

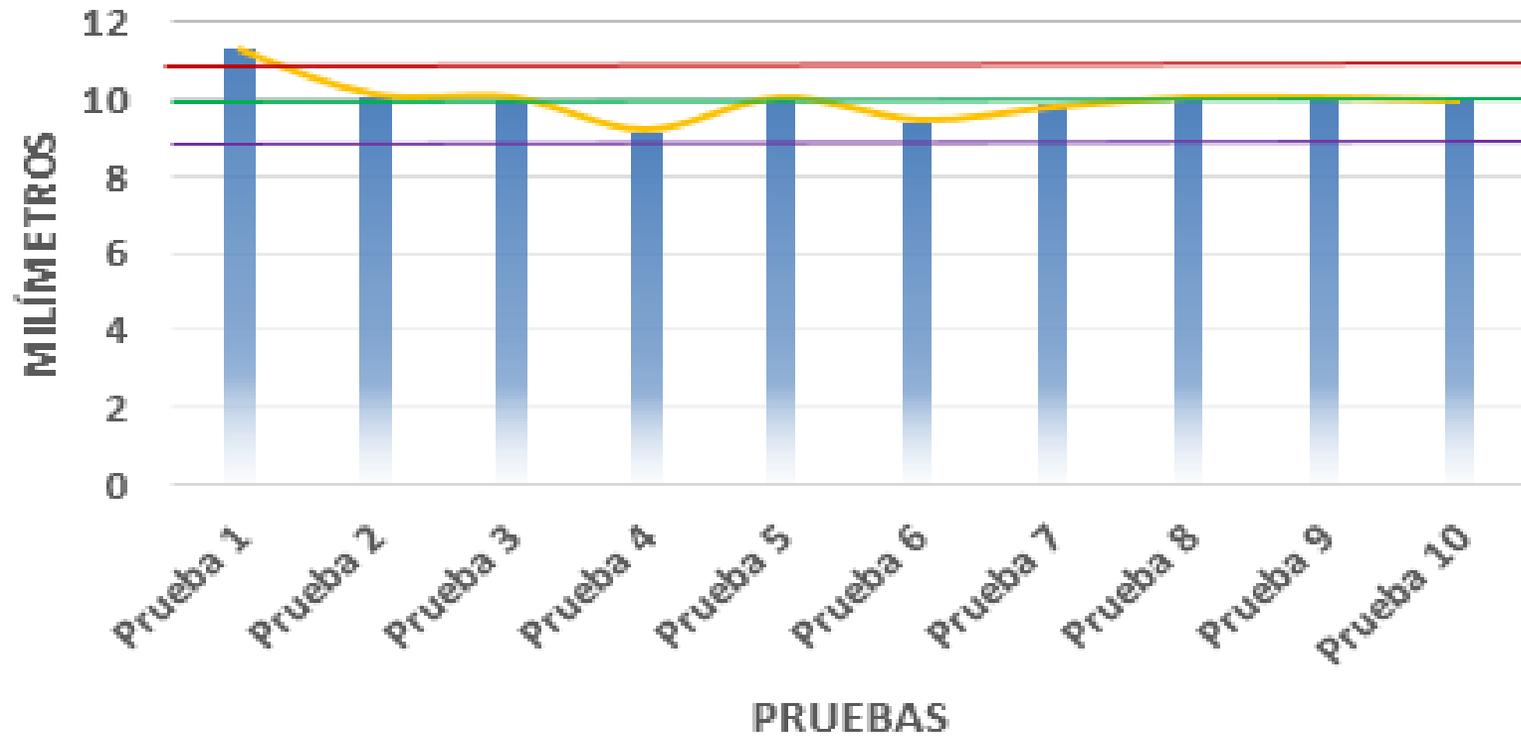
Valor mínimo del diámetro (29 mm) establecido por software.



Otro de los parámetros que se tomó en cuenta para el control de calidad de la pieza dentada fue el análisis de la altura del diente de la pieza.



PRUEBAS DE LA ALTURA DEL DIENTE



Polígono de frecuencia

Valor real de la altura del diente 10mm.

Valor máximo de la altura (11mm) establecido por software.

Valor mínimo de la altura (9 mm) establecido por software.



➔ Pieza Cruz.

ESCUOLA POLITECNICA DEL EJERCITO EXTENSION LATACUNGA
INGENIERIA EN MECATRONICA
CONTROL DE CALIDAD CON VISION ARTIFICIAL

Galle Veronica
Saa Fernando

Area correcta

Numero de piezas
ingresadas
4

Area de la cruz
1616.19 mm²

658x492 0.90X 254 (0.0)

Tiempo de visualización C.V.

Display Result Image for this State

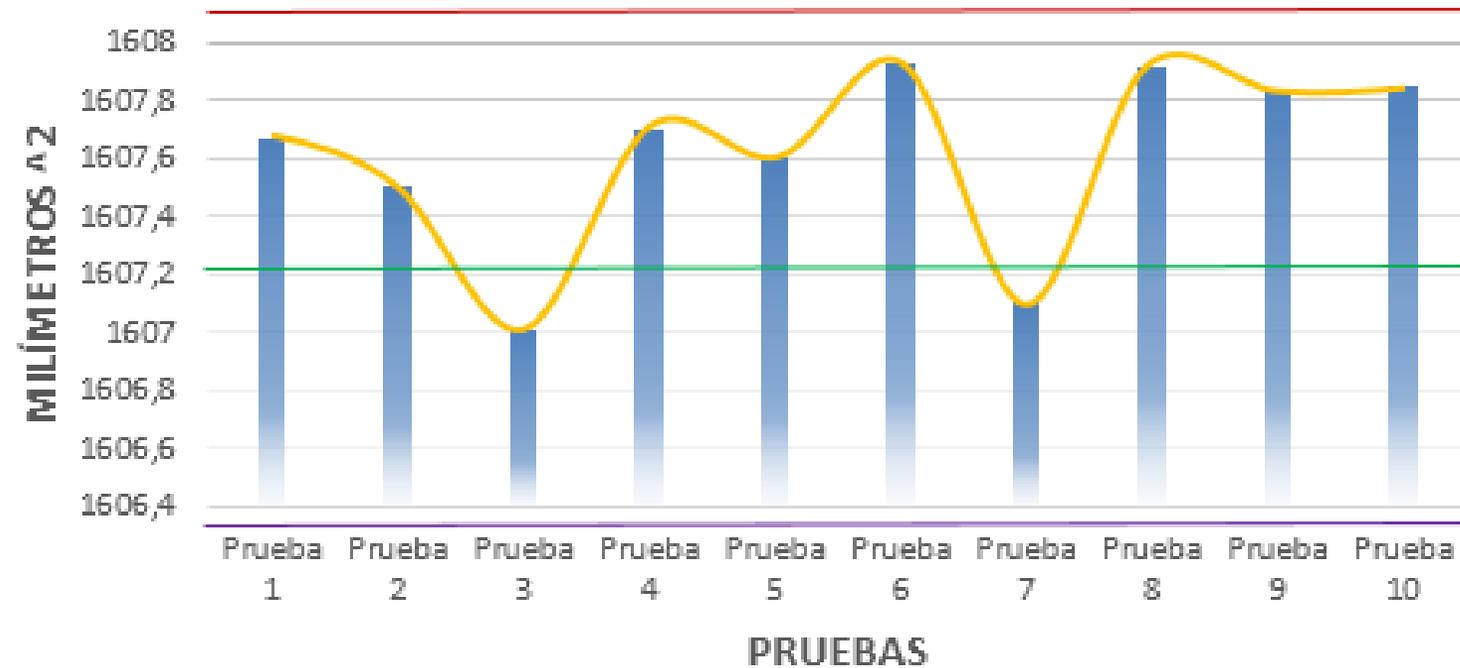
Inspection Status
PASS

Inspection Steps: Acquire Images

- Acquire Image: Acquires an image from the selected camera and image acquisition board.
- Acquire Image (1394, GiGE, or USB): Acquires an image from the selected IEEE 1394, Gigabit Ethernet, USB, or IP camera.
- Read/Write Camera Attributes: Read and write attributes from the selected IEEE 1394, Gigabit Ethernet, or USB camera.
- Simulate Acquisition: Simulates the acquisition of images by reading images from file.
- Select Image: Selects a new image to inspect.

EN 15:14
19/06/2013

PRUEBAS DEL ÁREA DE LA CRUZ



Polígono de frecuencia

Valor real del área de la cruz (1607.26mm^2).

Valor máximo del área (1608.26mm^2) establecido por software.

Valor mínimo del área (1606.26mm^2) establecido por software.

Otro de los parámetros analizados en la pieza cruz, tiene que ver con la altura real comparada con los valores del software.

The screenshot displays the NI Vision Builder AI configuration window for a project titled "ESCUOLA POLITECNICA DEL EJERCITO EXTENSION LATACUNGA INGENIERIA EN MECATRONICA CONTROL DE CALIDAD CON VISION ARTIFICIAL". The main view shows a grayscale image of a cross-shaped mechanical part with two vertical green lines indicating height measurements. Below the image, a green box labeled "Altura correcta" and an orange box labeled "Altura de los dientes 9,65 mm" are visible. The interface includes a top menu bar, a toolbar, and a right-hand panel with a flowchart and "Inspection Steps: Acquire Images" list. The bottom status bar shows a sequence of inspection steps, with the final step "HMI altura" highlighted in blue and a green "PASS" indicator.

ESCUOLA POLITECNICA DEL EJERCITO EXTENSION LATACUNGA
INGENIERIA EN MECATRONICA
CONTROL DE CALIDAD CON VISION ARTIFICIAL

658x492 0.90X 91 (0,0)

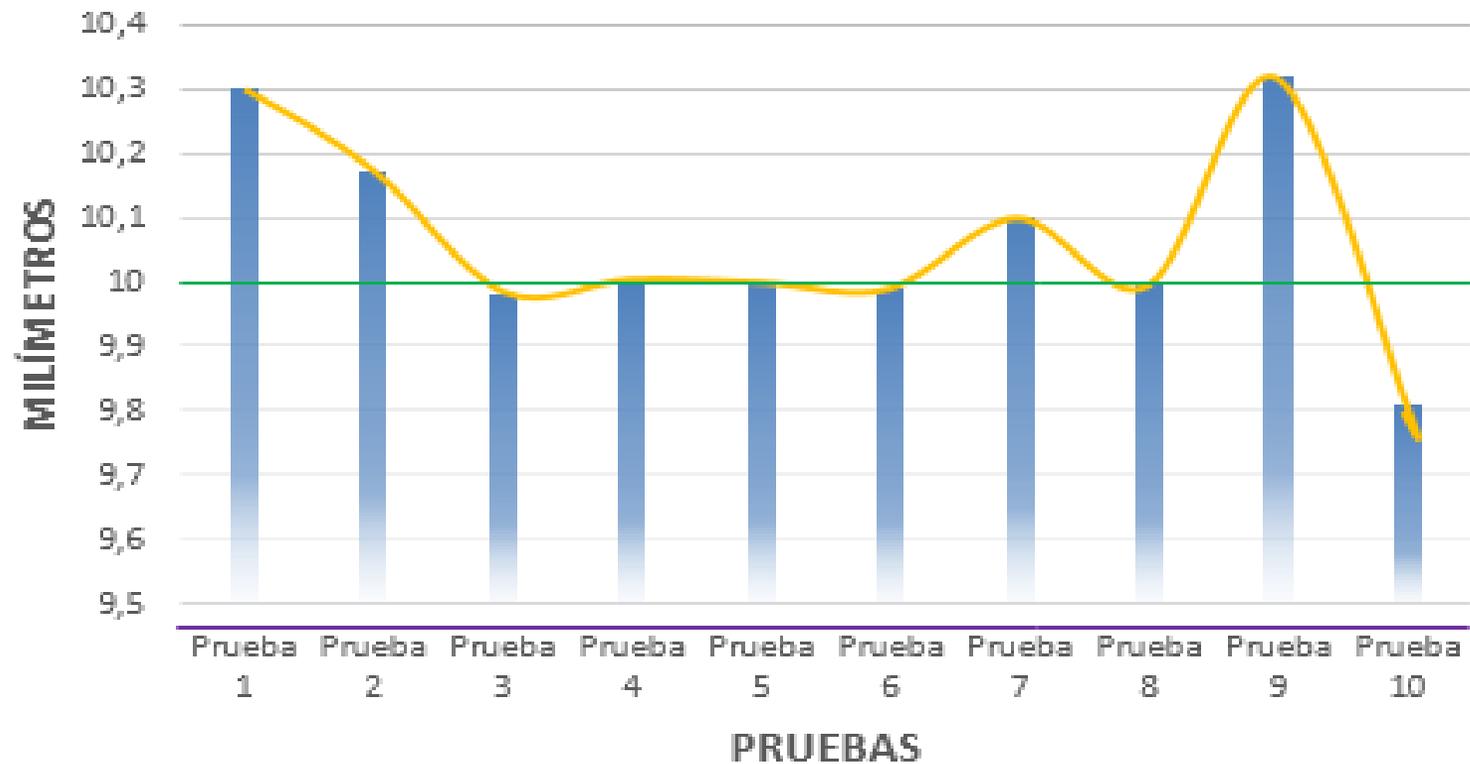
Altura correcta

Altura de los dientes 9,65 mm

Inspection Status
PASS

15:14
19/06/2013

PRUEBAS EN LA ALTURA DE LA CRUZ



Polígono de frecuencia

Valor real de la altura de la cruz (10mm).

Valor máximo de la altura (11mm) establecido por software.

Valor mínimo de la altura (9mm) establecido por software.

Pieza Perforada.

ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO EXTENSION LATACUNGA
INGENIERIA EN MECATRONICA
CONTROL DE CALIDAD CON VISION ARTIFICIAL

Numero de piezas ingresadas
1

Diametro de la circunferencia exterior
80.25 mm

Diametro de la circunferencia interior
50.09 mm

Diametro exterior correcto
Perforaciones ex. correctas

Diametro interior correcto
Perforaciones in. correctas

658x492 0.90x 246 (3,6)

Tiempo de visualización C.V.

Display Result Image for this State

Perforación in. 1 Diameter = 24.71 pix

Perforación in. 2 Diameter = 23.98 pix

Perforación in. 3 Diameter = 23.79 pix

Perforación in. 4 Diameter = 25.27 pix

Perforación in. 5 Diameter = 24.58 pix

Perforación in. 6 Diameter = 25.03 pix

Algoritmos perforado... Activa out 1 (perfora...

Inspection Status
PASS

Start

Acquire image: C.V. y escala de grises

Detecta (presencia) de pieza

Análisis de circunferencia exterior

Análisis de circunferencia interior

Inspection Steps: Acquire Images

Acquire Image: Acquires an image from the selected camera and image acquisition board.

Acquire Image (1394, GigE, or USB): Acquires an image from the selected IEEE 1394, Gigabit Ethernet, USB, or IP camera.

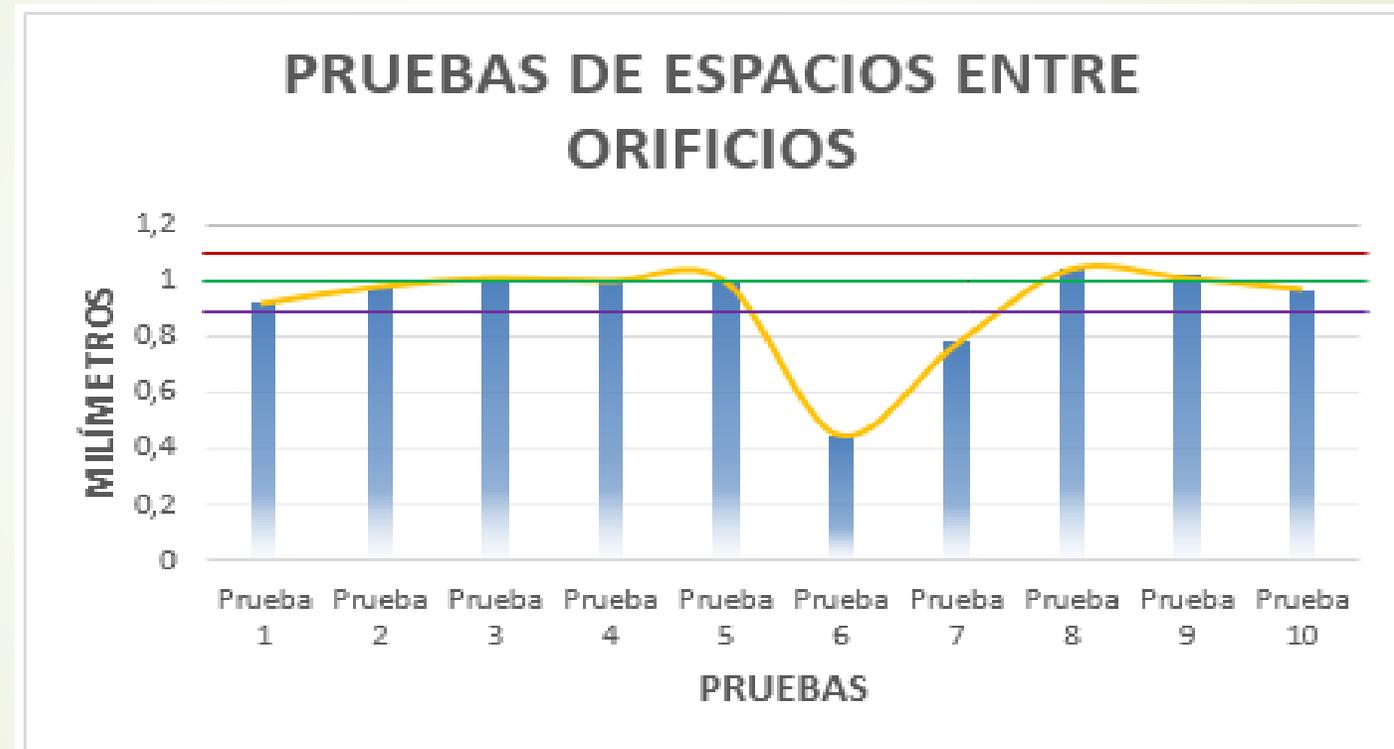
Read/Write Camera Attributes: Read and write attributes from the selected IEEE 1394, Gigabit Ethernet, or USB camera.

Simulate Acquisition: Simulates the acquisition of images by reading images from file.

Select Image: Selects a new image to inspect.

EN 17:16 18/06/2013

El primer parámetro que se analizó con la pieza perforada, fue determinar el espacio mínimo que debe tener entre los orificios.



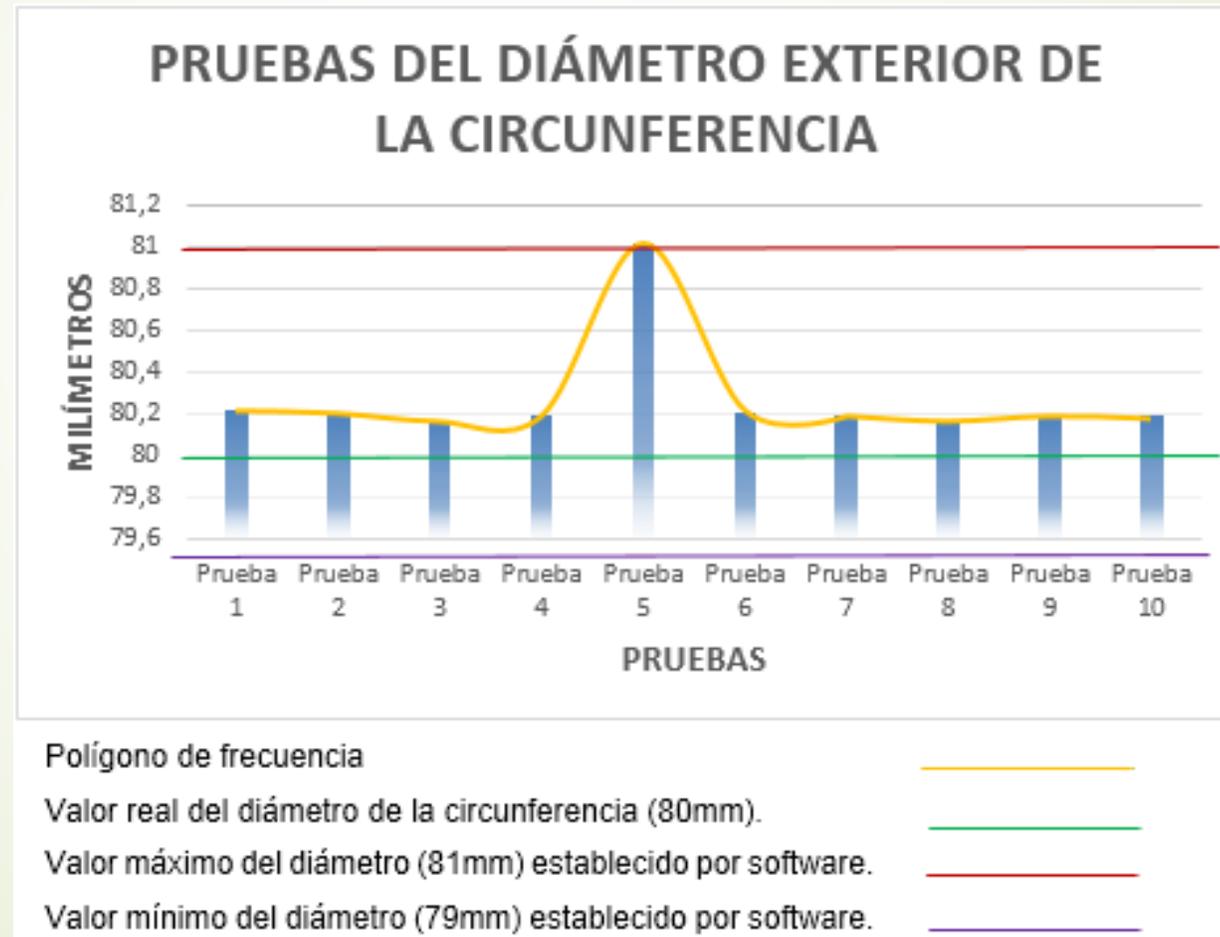
Polígono de frecuencia

Valor real de la distancia entre orificios (1mm).

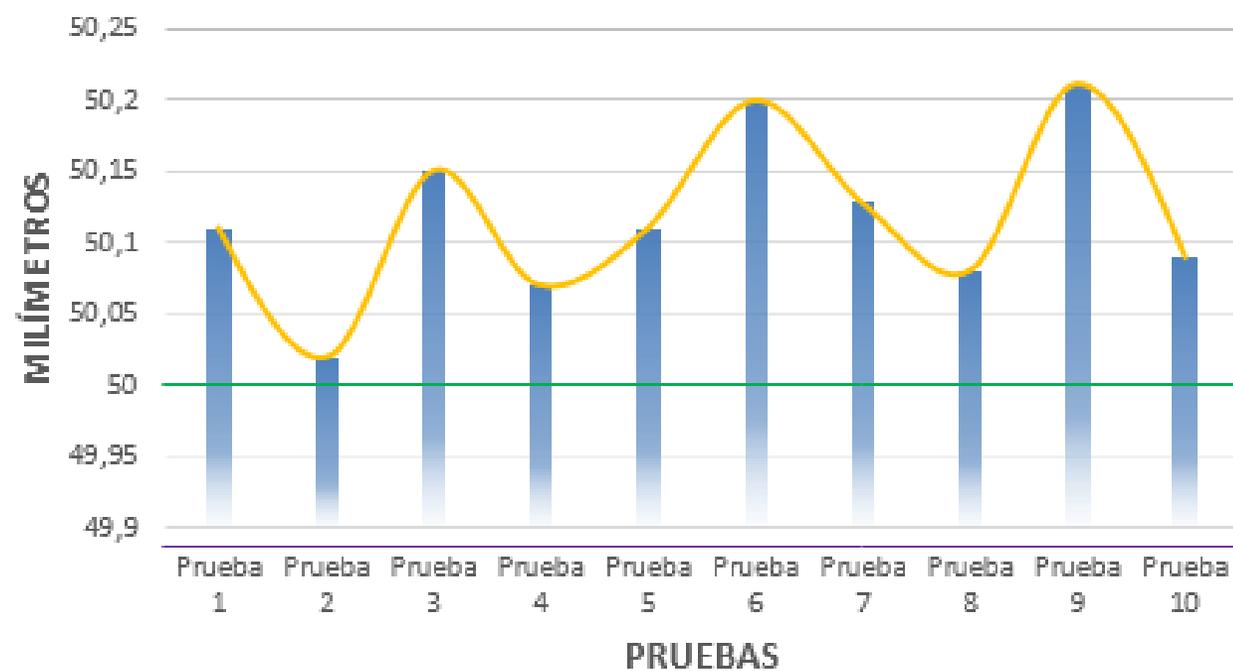
Valor máximo de la distancia (1.1mm) establecido por software.

Valor mínimo de la distancia (0.9mm) establecido por software.

El segundo aspecto que se tomó en cuenta para el control de calidad de la pieza perforada fue la determinación de las dimensiones de los diámetros reales tanto externo como interno.



PRUEBAS DEL DIÁMETRO INTERIOR DE LA CIRCUNFERENCIA



Polígono de frecuencia

Valor real del diámetro interior de la circunferencia (50mm).

Valor máximo del diámetro interior (51mm) establecido por software.

Valor mínimo del diámetro interior (49mm) establecido por software.

Por último se realizó las pruebas de la altura superior e inferior de la pieza con orificios.

ESCUOLA POLITECNICA DEL EJERCITO EXTENCION LATACUNGA
INGENIERIA EN MECATRONICA
CONTROL DE CALIDAD CON VISION ARTIFICIAL

Altura superior
5.02 mm

Altura superior correcta

Altura inferior correcta

Altura inferior
5.45 mm

Active vs. Idle Time (s.)

Active 212,6

Idle 0,7

Parts/s 0,00

Distribution of processing time for the last 100 inspection states

Inspection States	Steps	Result	Measure	Comment
Adquiere imagen C.V.	Activa cámara vertical	PASS	Frame Index = 15361	
	Extrae colores RGB C.V.	PASS		
	HMI C.V.	PASS		
Detecta presencia de	Detecta borde derecho	PASS	# Edges = 1	
Análisis de circunferen	Contador piezas ingresadas	PASS	Cuenta piezas ingresadas	
	Area de interés circunfe	PASS	# Matches = 1	

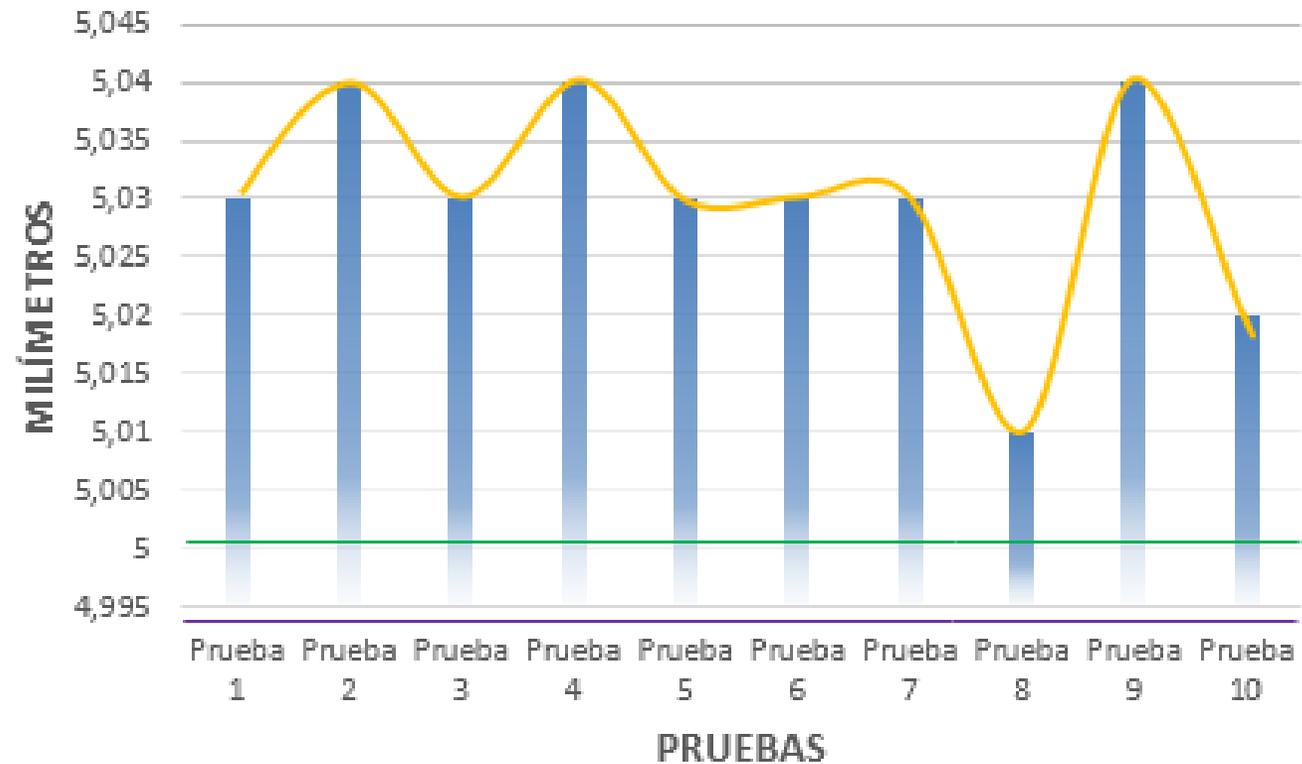
Inspection Status

PASS

658x492 0.96X 66 (0,0)
Display All Images Enabled.

EN 17:13
18/06/2013

PRUEBAS DE LA ALTURA SUPERIOR



Polígono de frecuencia

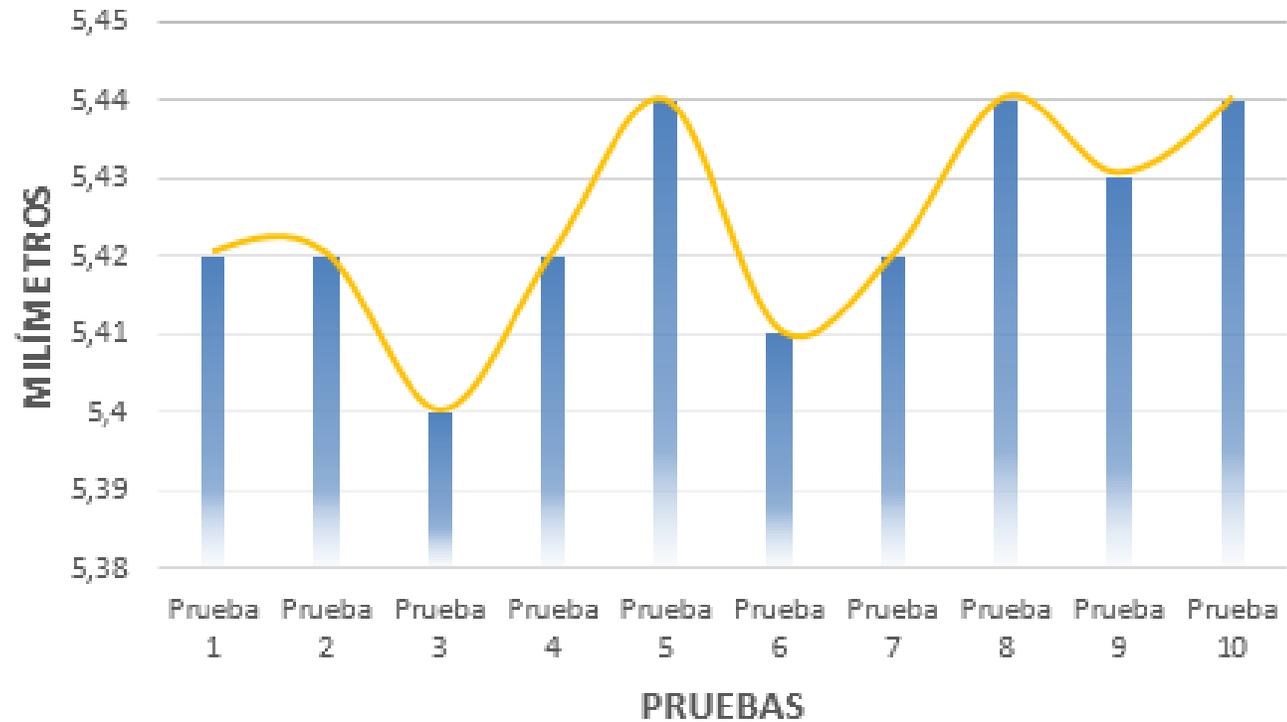
Valor real de la altura superior (5mm).

Valor máximo de la altura superior (6mm) establecido por software.

Valor mínimo de la altura superior (4mm) establecido por software.



PRUEBAS DE LA ALTURA INFERIOR



Polígono de frecuencia

Valor real de la altura inferior (5mm).

Valor máximo de la altura inferior (6mm) establecido por software.

Valor mínimo de la altura inferior (4mm) establecido por software.

VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS.

La hipótesis planteada para el proyecto es:

¿El diseño e implementación de una celda de manufactura totalmente automatizada, permitirá realizar el control de calidad de un producto a través de visión artificial, en el Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE-L?

De dicha hipótesis se obtienen las siguientes variables:

Variable independiente:

Diseño e Implementación de una Celda de Manufactura totalmente automatizada.

Variable dependiente:

Control de calidad.

Con el siguiente enunciado: si los resultados indican que de 90 piezas mecanizadas, el control de calidad reconoció como pieza buena a 84; entonces se puede afirmar que al menos el 93% de las piezas pueden ser reconocidas como pieza buena.

$$n = 90$$

$$x = 84$$

$$p = \frac{84}{90}$$

$$p_0 = 0.93 = 93\%$$

Si se asume una confiabilidad del 95 por ciento, el valor correspondiente a Z en la distribución normal es -1.64.

$$\alpha = 0.05 \Rightarrow z = -1.645$$

Hipótesis: $H_0 = p > p_0$ |

$H_1 = p < p_0$

$$z_0 = \frac{\frac{x}{n} - p_0}{\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}}$$

$$z_0 = \frac{\frac{84}{90} - 0.93}{\sqrt{\frac{0.93(1-0.93)}{90}}}$$

$$z_0 = -0.9395172425$$

\Rightarrow “No hay razón para rechazar la hipótesis H_0 ”

ANÁLISIS FINANCIERO DE COSTOS.

Equipo del Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE Extensión
Latacunga.

<i>Item</i>	<i>Especificación</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo</i>	<i>Valor</i>
1	CNC <u>ExpertMill</u> Fresadora	1	\$ 24,000.00	\$ 24,000.00
2	Brazo Robótico KUKA KR16	1	\$ 45,000.00	\$ 45,000.00
3	Banda transportadora <u>Techdesign</u>	2	\$ 8,095.00	\$ 16,190.00
4	Equipo de procesamiento de imágenes <u>National</u> Instruments	1	\$ 8,948.00	\$ 10,125.00
5	Pantalla <u>Touchwin</u>	1	\$ 725.00	\$ 725.00
6	PC de escritorio	1	\$ 1,134.00	\$ 1,134.00
7	Monitor	1	\$ 120.00	\$ 120.00
			Total:	\$ 97,294.00

Equipo y material proporcionado por los estudiantes.

Ítem	Especificación	Cantidad	Costo	Valor
1	Fabricación del módulo de control de calidad	1	\$ 200.00	\$ 200.00
2	Estructura de cámaras	1	\$ 250.00	\$ 250.00
3	Construcción del distribuidor de materia prima	1	\$ 180.00	\$ 180.00
4	Relés de 24dc con base.	15	\$ 10.00	\$ 150.00
5	Canaleta y riel DIN.	1	\$ 15.00	\$ 15.00
6	Rollo de cable N.-16 (100 m)	3	\$ 30.00	\$ 90.00
7	Fuente variable de voltaje	1	\$ 35.00	\$ 35.00
8	Swich Gigabit	1	\$ 80.00	\$ 80.00
9	Adaptadores neumáticos con manguera	3	\$ 14.00	\$ 42.00
10	Cable UTP con RJ-45 (1 m)	40	\$ 1.00	\$ 40.00
11	Terminales y marquillas	15	\$ 1.00	\$ 15.00
12	Tornillos y pernos	100	\$ 0.145	\$ 14.50
13	Selector ON/OFF, fusible y breaker	1	\$ 14.18	\$ 14.18
14	Borneras, contactos y tapas	1	\$ 30.00	\$ 30.00
15	Cables de potencia para cámaras	2	\$ 3.00	\$ 6.00
16	Espiral grande	2	\$ 8.00	\$ 16.00
17	Materia prima para el mecanizado	1	\$ 150.00	\$ 150.00
18	Lámparas fluorescentes	4	\$ 4.00	\$ 16.00
			Total:	\$ 1,343.68

Se obtiene como resultado que el proyecto realizado por los estudiantes encargados del mismo, permite un ahorro de **350,349.32 USD**, de este valor se saca el porcentaje de ahorro del 78.03%.



SUBTOTAL DOLARES AMERICANOS	400.881,25
MAS 12 % IVA	48.105,75
TOTAL DOLARES AMERICANOS	448.987,00

- * MONEDA DE TRANSACCION DÓLAR AMERICANO
- * FORMA DE PAGO: 60 % DE ANTICIPO SALDO CONTRA ENTREGA
- * VALIDEZ DE LA OFERTA 30 DIAS CALENDARIO
- * GARANTIA DE DOS AÑOS CONTRA DEFECTOS DE FABRICACION
- * GARANTIA DE PROVISION DE REPUESTOS: GARANTIZADO AL MENOS POR 5 AÑOS
- * ENTREGA DE LOS BIENES: 12 SEMANAS A PARTIR DE LA ENTREGA DEL ANTICIPO

Atentamente

Ing. Tito Ortiz
GERENTE GENERAL



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES.

- Se diseñó e implementó una celda de manufactura con brazo robótico centralizado y control de calidad con visión artificial en el Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE-L de forma eficiente, cumpliendo con los requerimientos básicos de Flexibilidad, Reconfigurabilidad y Tolerancia a Fallas.
- Se desarrolló el programa para los movimientos del brazo robótico KUKA KR 16 en modo experto, permitiendo introducir sentencias de control y manejo de entradas y salidas del módulo WAGO, las cuales se encuentran conectadas con las E/S de los PLC's de las bandas transportadoras, ejecutándose el control de movimientos sincrónicos de las bandas transportadoras con el brazo robótico industrial.

- 
- Se creó la supervisión del proceso de la celda de manufactura a través de un HMI (Interfaz Humano Máquina) con la ayuda de una pantalla touch, en donde se puede controlar las velocidades de las bandas, monitoreo del proceso a través de luces indicadoras y llevar un registro de las piezas que han sido mecanizadas y que han pasado el control de calidad a través de contadores.
 - Se diseñó el programa para el control de calidad del producto, a través de las herramientas proporcionadas por el software Vision Builder y se configuró los parámetros de intensidad y zoom de la cámara vertical y horizontal por medio del software Measurement & Automation (MAX).
 - Se desarrolló un sistema HMI para el control de calidad del producto, a través de una PC que indica el funcionamiento interno del EVS, los pasos y secuencias que se sigue para generar un control de calidad de la pieza satisfactorio para el operario.

- 
- Se realizó el control de calidad de la pieza tanto de la parte superior como lateral, estableciendo los parámetros definidos de forma y tamaño, a través de comandos propios del software que trabajan comparando los patrones que se establecen para determinar si la pieza cumple con las especificaciones determinadas por el fabricante.
 - Se realizó el control de calidad en tiempo real, de piezas que no necesitan de un alto grado de precisión, sino que pueden tener un margen de error de 1 mm, a través del Sistema Embebido de Visión (EVS), logrando una eficiencia del 93%.
 - Se determinó que la repetibilidad de 0.0127mm del centro de mecanizado ExperMill VM 600 se encuentra dentro del rango de tolerancia de 1 mm establecido para el control de calidad de las piezas, lo que ocasiona que si una pieza tiene un error de este valor será determinada como correcta por estar dentro de los parámetros del control, por lo tanto si se necesita que las dimensiones del producto tenga un margen de error mínimo, el control de calidad que se realizó no podrá satisfacer las necesidades del operario.

- 
- Se concluyó que el control de calidad realizado por medio de las cámaras y procesado por el EVS, no puede ser aplicado en piezas donde su margen de error sea de $\pm 1\text{mm}$; según el documento de la empresa VMT PEPPERL FUCHS, indica que para reducir el margen de error del control de calidad se debe utilizar la técnica de medición por láser, puesto que ésta ayuda a reducir el error a un $\pm 0.3\text{mm}$.
 - Se configuró cinco estaciones de trabajo, las cuales son: distribución, mecanizado, transporte, control de calidad y la de clasificación y almacenamiento, las mismas que cumplen con su función específica para lograr el correcto funcionamiento de la celda de manufactura.
 - Se logró crear un alto grado de automatización al incorporar el brazo robótico industrial, las bandas transportadoras, el mini centro de mecanizado (CNC), el sistema de control de calidad y el distribuidor de materia prima, a través de la realización de una red de comunicación para disponer información de todos los equipos que forman parte de la celda de manufactura.
 - Se determinó que al realizar el proceso de mecanizado y control de calidad del producto de manera automática, se gana en tiempo de producción y el control de calidad se lo realiza de forma más efectiva.

- 
- Se diseñó e implemento la celda de manufactura con control de calidad de una manera entendible y fácil, con el fin de que sirva como base de diseño para la selección e implementación de celdas semejantes.
 - La celda de manufactura con control de calidad construida por una inversión de **98,637.68 USD**, representa un ahorro considerable con respecto a las celdas de manufactura que se pueden encontrar en el mercado de características similares que oscilan sobre los 448,987.00 USD.
 - El principal beneficiario del proyecto es la industria manufacturera, donde es habitual la repetición de tareas, la fabricación en serie de piezas y maquinaria; lo que obliga a realizar todas exactamente iguales.
 - La inversión económica que conlleva crear una celda de manufactura de este tipo es muy costosa, pero a corto tiempo es reembolsable.

RECOMENDACIONES.

- ▶ Es necesario fijar los equipos al piso, para que los movimientos del brazo robótico coincidan con los programados; especialmente en el mini centro de mecanizado ya que al colocar la materia prima puede ocasionar colisiones.
- ▶ El control de calidad de las piezas debe realizarse en materiales donde no exista niveles de brillo en las superficies, que dificulten el procesamiento digital de imágenes. Se realizaron pruebas con el aluminio y se determinó que existe un nivel de brillo intenso que impide un control de calidad de la pieza.
- ▶ Se recomienda usar una computadora con similares características o versiones superiores a las siguientes: procesador Intel ® Core (TM) i3 CPU, memoria RAM de 4 GB, capacidad del disco duro 287 GB y tarjeta de red Ethernet de 1000 Mbps, con el fin de visualizar en el computador lo que ocurre con el procesamiento de imágenes dentro del EVS en tiempo real.

- 
- Para el mecanizado de las piezas en el mini centro de mecanizado ExperMill VM-600, se recomienda mejorar el sistema de sujeción debido a que el actual no permite sujetar bien la pieza y al momento de mecanizar tiende a moverse provocando que la pieza salga defectuosa en cuestión de 1 a 2 mm.
 - Para un control de calidad eficiente en donde no exista problemas de iluminación de luz por el ambiente de trabajo, se recomienda cubrir el espacio destinado para el proceso en su totalidad así se evitará cambios de intensidad que afecten el control de calidad de las piezas.
 - Para realizar el control de calidad de piezas que necesitan de un alto rango de precisión, se recomienda usar la técnica de medición por láser, ya que esta permite un análisis profundo de la superficie a ser inspeccionada y elimina los porcentajes de error a un $\pm 0.3\text{mm}$.
 - Para disminuir los posibles errores que puede presentar una pieza mecanizada en sus dimensiones, se recomienda la posibilidad de bajar el rango de tolerancia determinado para el control de calidad, de acuerdo al valor de repetibilidad que posea el centro de mecanizado, se puede lograr una mejor precisión en el análisis de sus parámetros.

- 
- Se puede mejorar el tiempo de trabajo en la celda, incrementando la velocidad con la que el brazo robótico se desplaza y manipula los objetos, para que este punto sea posible de alcanzar se deben estudiar las partes del proceso donde la manipulación del material no es crítica y en el desarrollo de la programación se recomienda asegurar que el robot ejecute la siguiente instrucción al haber finalizado totalmente la instrucción anterior.
 - Para que la celda de manufactura pueda funcionar sin ninguna avería, es necesario que se realice mantenimientos continuos de los equipos utilizando los repuestos necesarios de acuerdo a las especificaciones técnicas y así se pueda prolongar la vida útil de los equipos e instalaciones al máximo.
 - Para cumplir con todo el proceso de la celda de manufactura se recomienda plantear como tema de tesis la automatización de la estación de clasificación y almacenamiento, ya que en este proyecto solo se designó un espacio para este fin.

- 
- Es importante la capacitación a los usuarios de la celda de manufactura para que no existan problemas al momento de su funcionamiento, para ello el presente proyecto proporciona la debida documentación por medio de un manual de usuario con esto se asegura que el estudiante tenga las herramientas necesarias para poder trabajar con la celda.
 - Se debe considerar todas las medidas de seguridad dentro de la celda de manufactura como las normas de seguridad industrial para toda actividad que se realice dentro de la celda, así evitaríamos daños con el personal y con los equipos.
 - Como el presente proyecto servirá como técnica de enseñanza para los alumnos de la ESPE-L se recomienda que se cambie el mini centro de mecanizado ExperMILL VM 600, por otro centro de mecanizado con mayores prestaciones, es decir mayor número de entradas y salidas para poder controlar procesos más grandes si fuera el caso y con un mejor rango de exactitud y repetibilidad para poder mecanizar piezas más grandes y complejas.



GRACIAS.....