



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA DE MANUFACTURA FLEXIBLE DE ORDEN ALEATORIO Y DISTRIBUCIÓN EN LÍNEA CON CONTROL DE CALIDAD PARA PRÁCTICAS DE FMS EN EL LABORATORIO DE CNC”**

**AUTORES: Mauricio Danilo Chiliquinga Malliquinga  
Walter Miguel Jara Ramos**

**Latacunga, enero 2017**



# AGENDA

1. Introducción

2. Objetivos

## Capítulo I

3. Estado del arte

4. Fundamento teórico

## Capítulo II

5. Casa de la Calidad QFD

6. Diseño, selección de materiales y componentes

## Capítulo III

7. Implementación

## Capítulo IV

8. Pruebas y resultados

## Capítulo V

9. Conclusiones

10. Recomendaciones



1980  
ECUADOR

# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# INTRODUCCIÓN

Las técnicas de control de calidad en los procesos industriales son todos los mecanismos, acciones y herramientas que se pueden utilizar para poder detectar la presencia de algún tipo de error.

El control de calidad existe para conocer las especificaciones establecidas durante la elaboración del producto y aportar asistencia en el proceso de fabricación, para que la producción alcance ciertas especificaciones o características, por lo tanto consiste en la recolección y análisis de grandes cantidades de datos que servirán para poder controlar la calidad de un producto y de esta manera iniciar una acción correctiva adecuada



# OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar una celda de manufactura flexible de orden aleatorio y distribución en línea con control de calidad para prácticas de FMS en el laboratorio de CNC.



# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilación de información respecto al comportamiento de los distintos componentes de celdas de manufactura.
- Diseñar la estación de control de calidad, el sistema de almacenamiento y recuperación AR/RS y toda la celda de manufactura flexible en un software especializado de diseño.
- Seleccionar los distintos componentes para la construcción de la celda de manufactura con su respectivo sistema de control de calidad.
- Selección de la sonda para la medición y testing de alta calidad utilizados en los centros de mecanizado (CNC).



# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer dimensiones, posiciones de los centros de mecanizado, la estación de control de calidad y el sistema de almacenamiento y recuperación AR/RS que permita integrar todos los componentes de forma óptima.
- Efectuar pruebas de la celda de manufactura flexible con la estación de control de calidad, almacenamiento automático y recuperación AR/RS que permita evidenciar si amerita ejecutar algún ajuste.
- Verificar el proceso de mecanizado de un producto requerido y cotejar la mejora de producción, disminución de tiempos y su repetitividad.



# ESTADO DEL ARTE

- Gallo. V & Saá. F. “Diseño e implementación de 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”. Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga.
- Quezada. A “Diseño y Construcción de un prototipo de sistema de visión artificial para la clasificación y control de calidad de la chapa de madera” Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Acosta. N & Caizalitin. E. “Diseño e implementación de una celda de manufactura robotizada, para la réplica de piezas 3D, mediante frezado en el laboratorio de robótica industrial de la ESPE-L” Universidad de las Fuerzas Armadas. Latacunga.
- Almeida .N “Diseño e implementación de una celda de manufactura para el sistema robótico CRS A255 del laboratorio de robótica de la Escuela Politécnica del Ejército”. Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí.



# ESTADO DEL ARTE



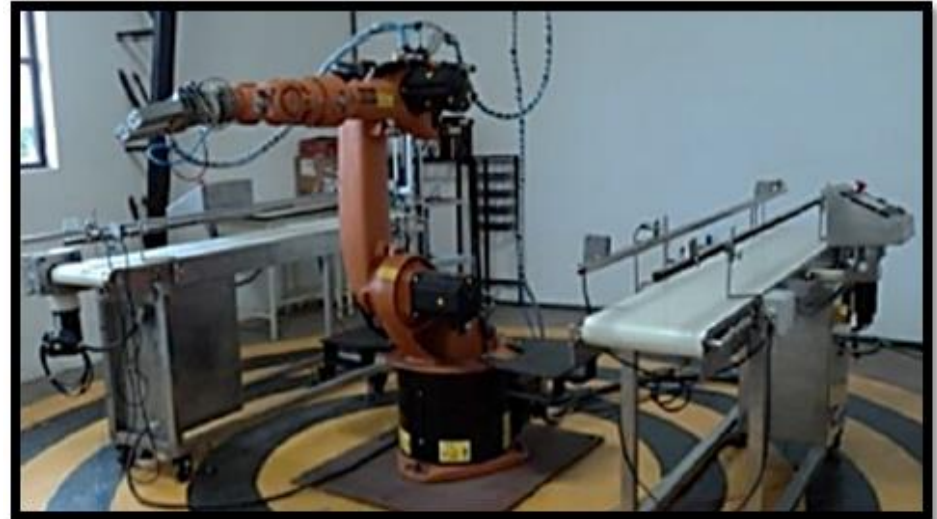
a)



b)

a) Estación de trabajo, b) HMI procesamiento de imágenes

Fuente: (Quezada. A)



Celda de manufactura implementada

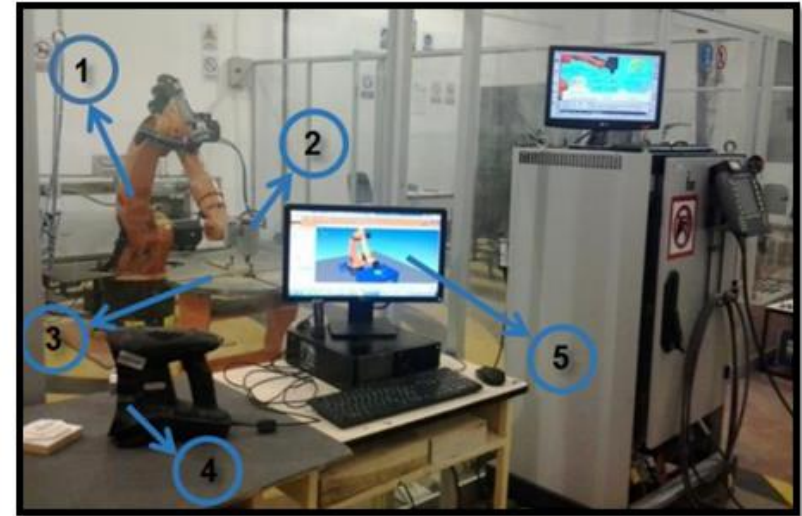
Fuente: (Gallo. V & Saá. F)



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

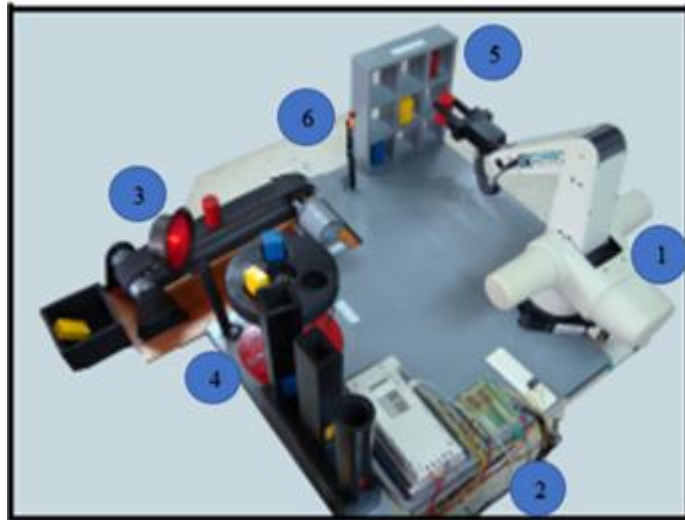


# ESTADO DEL ARTE



Celda de manufactura robotizada. Brazo Robótico Industrial KUKA KR16 (1). Cabezal frezador Jager (2). Mesa de trabajo (3). Escáner 3D (4). PC (5)

Fuente: (Acosta. N & Caizalitin. E.)



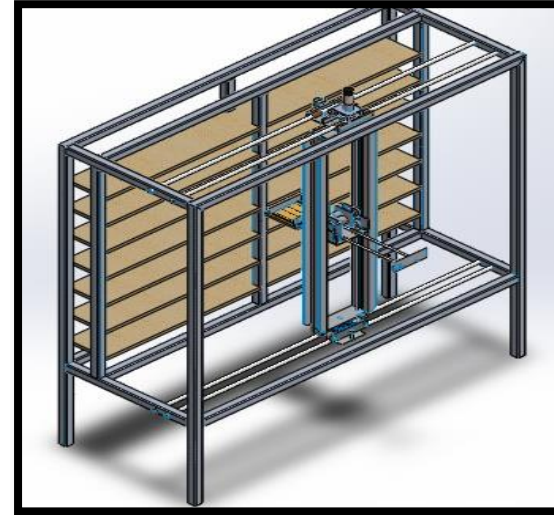
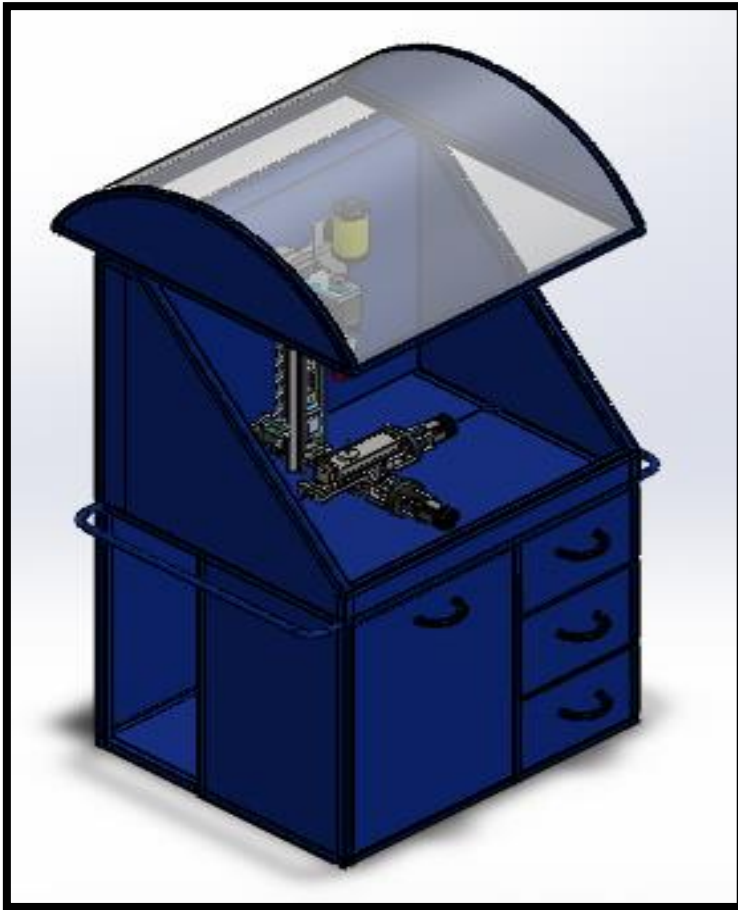
Partes constitutivas de la celda de manufactura, Robot CRS A255 (1). Módulo de I/O del puerto GPIO (2). Estación de transporte (Banda transportadora) (3), Mesa Centrífuga y distribución de piezas (4). Matriz de almacenamiento (5). Estación de AS/RS

Fuente: (Almeida .N)



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# MÁQUINAS EXISTENTES EN EL LABORATORIO CNC

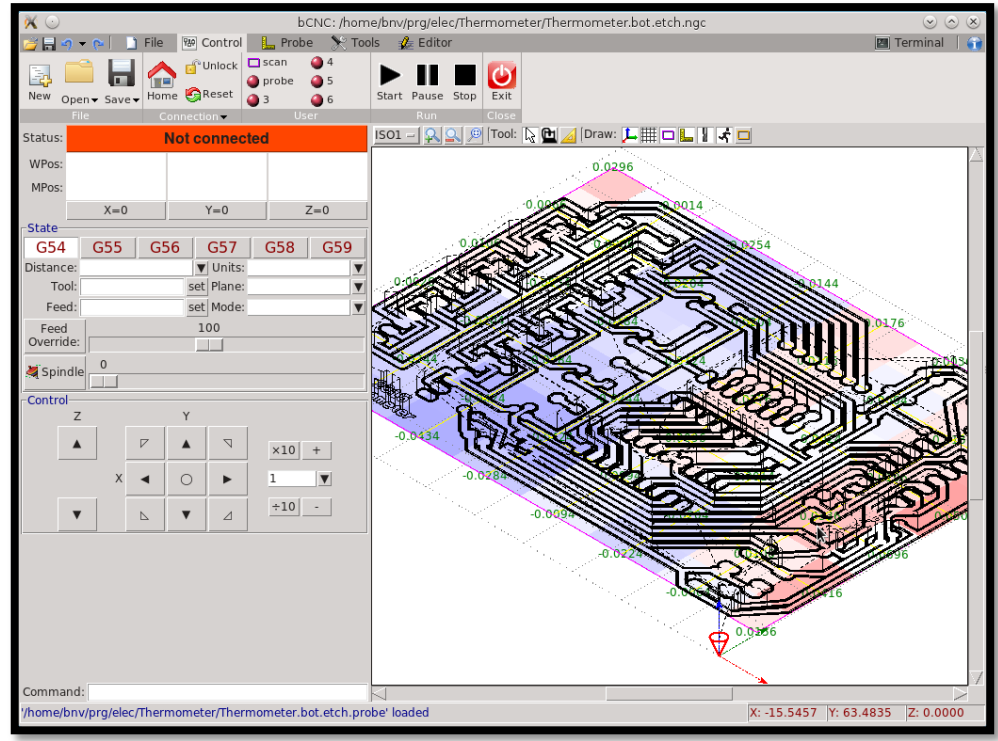
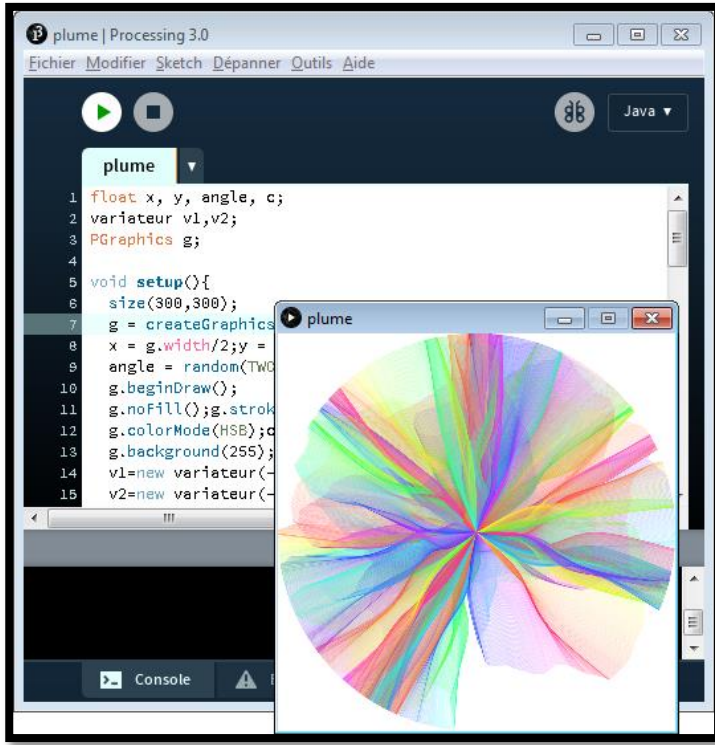


# MÁQUINAS CNC IMPLEMENTADAS

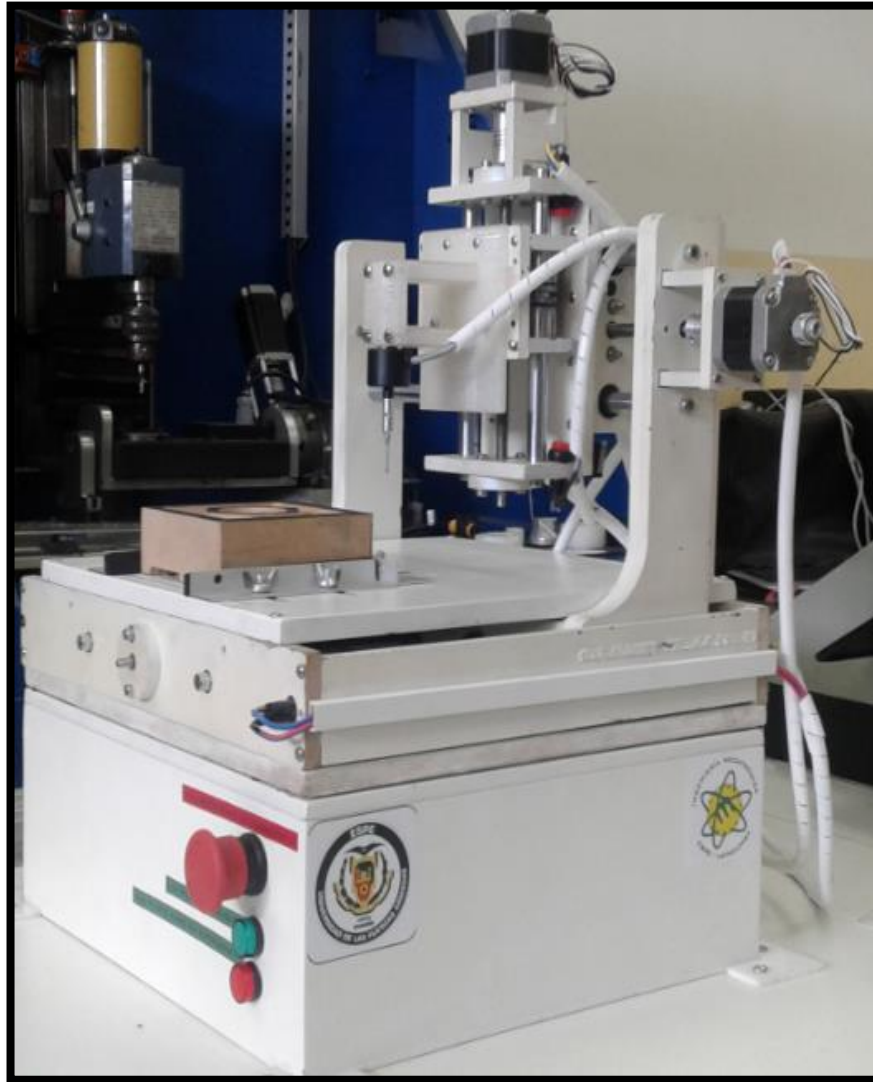


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# SOFTWARE EMPLEADOS



# ESTACIÓN DE CONTROL DE CALIDAD IMPLEMENTADO



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

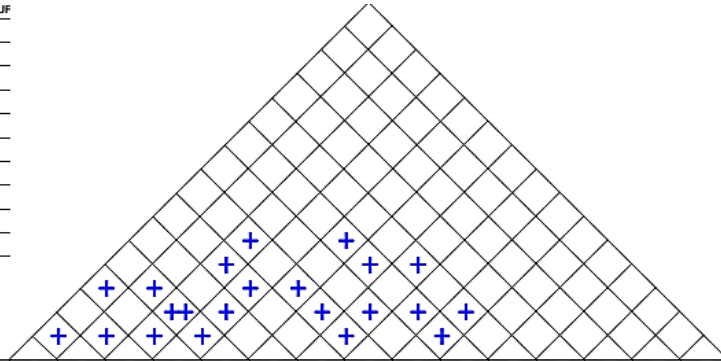
# DISEÑO, SELECCIÓN DE MATERIALES Y COMPONENTES



# DISEÑO POR CALIDAD (QFD)

Title: OFD DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA CELDA DE MANUF  
 Author: Chiliquinga-Jara  
 Date: 25/10/2016  
 Notes:

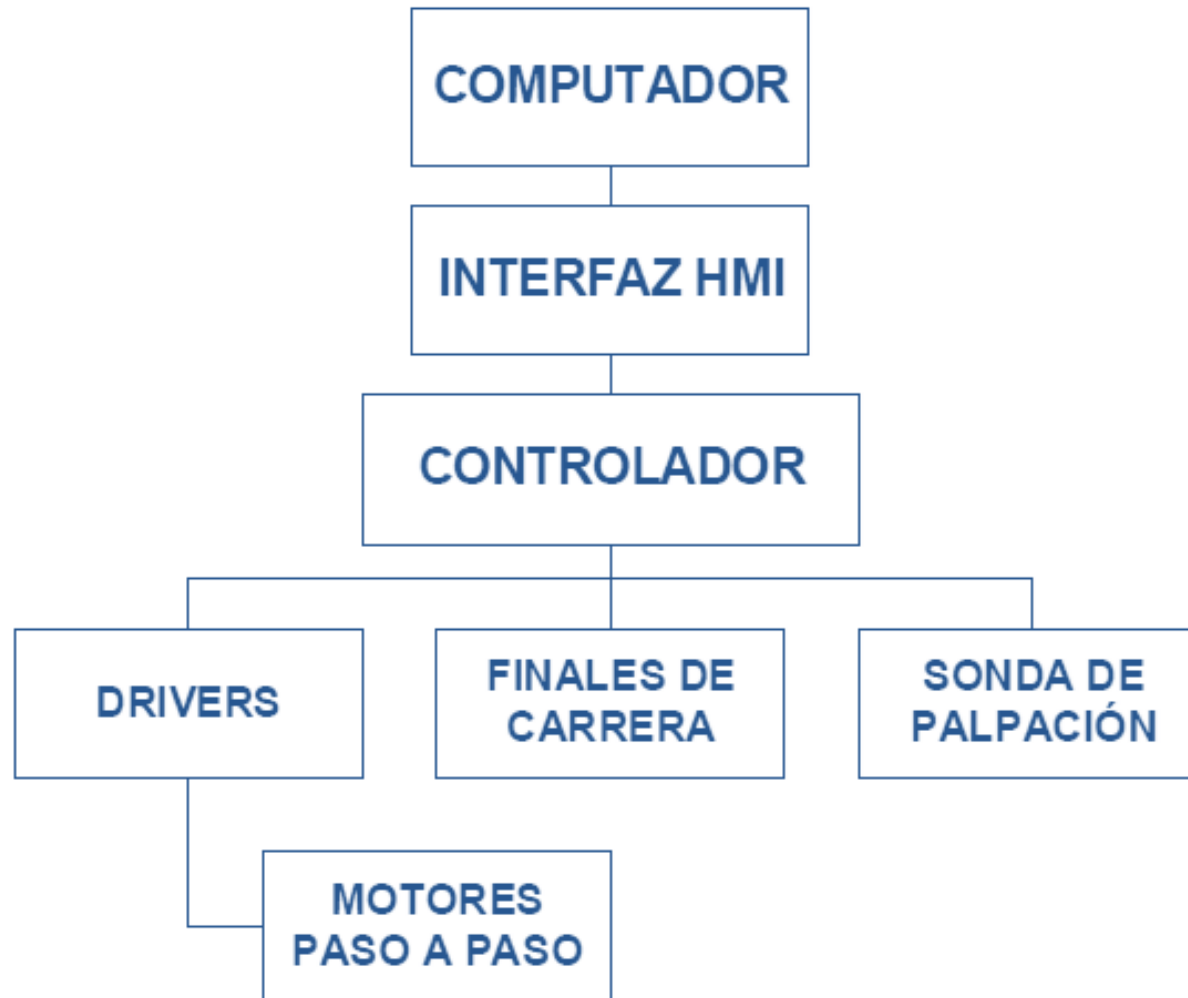
Legend	
$\otimes$	Strong Relationship 9
$\circ$	Moderate Relationship 3
$\blacktriangle$	Weak Relationship 1
$++$	Strong Positive Correlation
$+$	Positive Correlation
$-$	Negative Correlation
$\nabla$	Strong Negative Correlation
$\blacktriangledown$	Objective Is To Minimize
$\blacktriangle$	Objective Is To Maximize
X	Objective Is To Hit Target



Row #	Max. Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Quality Characteristics (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	Column #															Competitive Analysis (0=Worst, 5=Best)																					
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Pro pia compan ia	Com petencia	Obj etivos																			
Direction of Improvement: Minimize ( $\nabla$ ), Maximize ( $\blacktriangle$ ), or Target (X)					X	$\blacktriangle$		$\blacktriangledown$	X	$\blacktriangle$	$\blacktriangle$		$\blacktriangle$	X	$\blacktriangle$																										
Quality Characteristics (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")					Robustez de la estacion de control	Dimensiones maximas de la pieza	Fácil montaje y desmontaje de las piezas	Tiempo de medición	Dimensiones de la máquina	Control de calidad	Reconocimiento de errores de la pieza	Software	Sonido de medición	Fácil montaje y desmontaje de la sonda	Area de trabajo																										
Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")					Ubicación idonea dentro de la celda	Correcta medición de las piezas	Funcionalidad de la sonda de palpación	Frecuencia de operación de la estación	Fácil operación	Diseño innovador	Seguridad	Fácil de trasladar	Uso de software	Aceptable alcance del manipulador																											
Target or Limit Value					Ejes de transmisión	Centros de mecanizado, 3 GD.L	Alta	45 segundos	400,5x300,20x300,6 mm	Alta	Alta	Alta accesibilidad	Palpador punta de rubí	Tomillos hexagonales	Amplia																										
Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)					0	6	5	4	1	3	3	1	1	1	1																										
Max Relationship Value in Column					9	9	3	9	9	9	9	9	9	9	9																										
Weight / Importance					811,1	293,3	103,3	392,2	622,2	322,2	483,3	266,7	450,0	416,7	454,4																										
Relative Weight					17,6	6,4	2,2	8,5	13,5	7,0	10,5	5,8	9,7	9,0	9,8																										


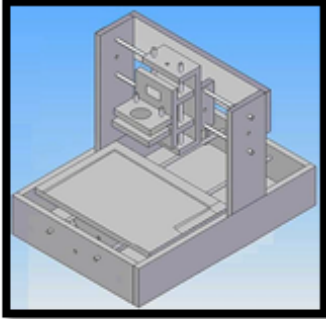
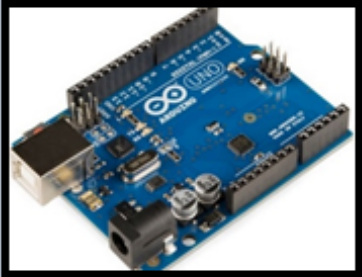


# ARQUITECTURA GLOBAL DEL SISTEMA DE CONTROL PARA LA ESTACIÓN





# SELECCIÓN DE ELEMENTOS

Aplicación	Selección	Características
Medición de piezas	<p>Sonda de disparo por contacto</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de medición en 3 ejes X, Y, Z.</li> <li>• Es adaptable a cualquier software CNC, sin la necesidad de adquirir un controlador</li> <li>• Proporciona una precisión y repetibilidad excelente.</li> <li>• Duración &gt;10 millones de disparos.</li> <li>• La sonda tiene la finalidad de adaptarse a las tareas de medición por su facilidad de cambio de palpadores y utilizar extensiones de hasta 100 mm.</li> </ul>
Sistema de posicionamiento automático	<p>Mesa de posicionamiento</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo medio y de fácil adquisición, disponible en una gran variedad de modelos y aplicaciones.</li> <li>• La mejor relación precio-rendimiento.</li> <li>• Su reducido espacio de montaje hace que sea fácil de instalar en espacios estrechos.</li> <li>• Escala de alta resolución.</li> <li>• Configuraciones de escaneo punto a punto y opcionales.</li> <li>• Realiza movimientos en el plano cartesiano.</li> <li>• El sistema del eje Z permite realizar una toma de datos con la sonda con distintas extensiones y palpadores.</li> </ul>
Hardware de interpretación	<p>Arduino Uno Rev3</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es una placa electrónica de fácil adquisición.</li> <li>• Muy bajo precio.</li> <li>• Compatible con cualquier software que admita programación en java y programación intuitiva.</li> <li>• Funciona a bajos voltajes ofreciendo un bajo consumo de energía.</li> <li>• Arduino también dispone de 6 pines de entrada analógicos que trasladan las señales a un convertor analógico/digital de 10 bits.</li> <li>• Comunicación serial RX  TX, para señales TTL.</li> <li>• Ofrece 6 salidas de señales PWM</li> <li>• Memoria flash de 32 KB.</li> </ul>



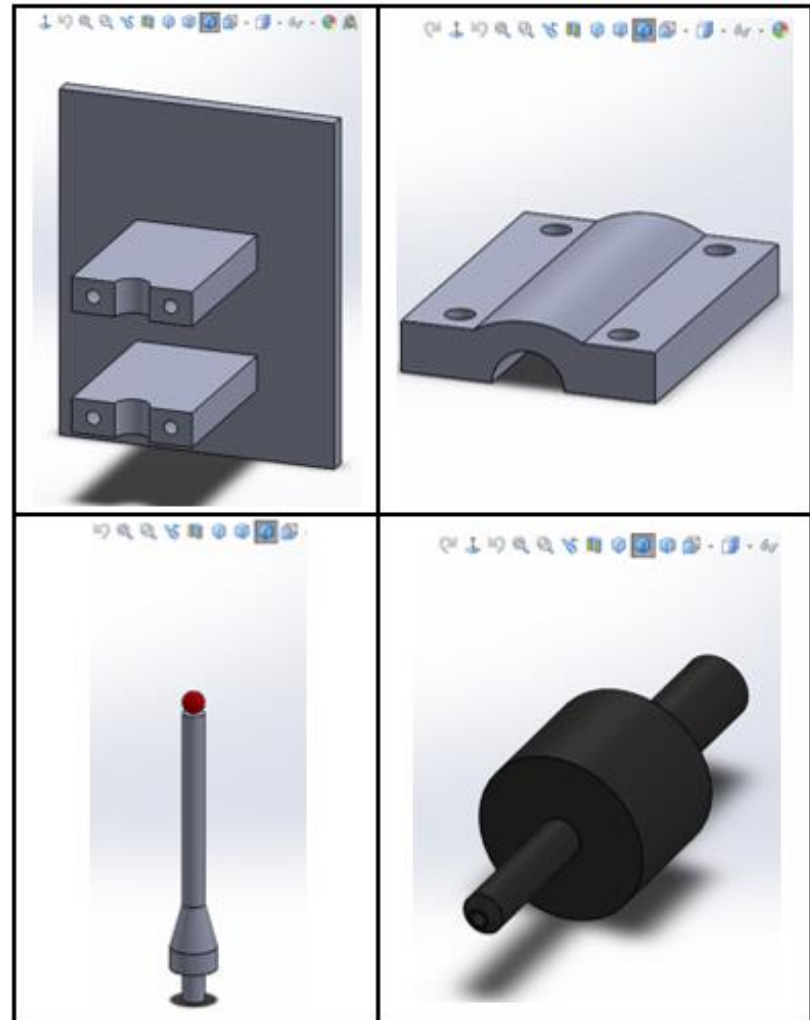
# SELECCIÓN DE ELEMENTOS

<p>Hardware controlador de motores PAP Nemas 17</p>	<p>CNC Shield Arduino v3.0</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bajo costo y de fácil adquisición en el mercado local.</li><li>• Control de cuatro ejes (X, Y, Z, A).</li><li>• Compatibilidad con el software GRBL Universal Gcode Sender (Versiones Firmware 0.8c y 0.9i) y plataformas de Arduino.</li><li>• Resolución de 1/16 de paso.</li><li>• Adaptación directa con Arduino Uno V3.0 y otras placas compatibles.</li><li>• Soporta de 12 - 36 V de alimentación para motores.</li><li>• Parte lógica de tensión de alimentación de 5V.</li><li>• Interfaces de comunicación UART, I2C.</li><li>• Compatible de controladores de motores paso a paso A4988 y DRV88, contando con 4 zócalos adaptables a los drivers.</li></ul>
<p>Driver para motores PAP Nema 17</p>	<p>Pololu A4988</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Es una driver de muy bajo costo y de fácil adquisición en el mercado local, haciendo sencillo su rápido reemplazo.</li><li>• Permite ajustar la salida de corriente máxima con un potenciómetro, que le permite utilizar tensiones superiores a la tensión nominal del motor paso a paso para lograr mayores tasas de paso.</li><li>• Paso completo, medio paso, un cuarto de paso, un octavo de paso, y un dieciseisavo de paso.</li><li>• Tensión de entrada de 8-35 V y una corriente de salida de 1A</li></ul>
<p>Alimentación eléctrica del sistema</p>	<p>Fuente de alimentación ATX</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Es de fácil adquisición y costo bajo.</li><li>• Voltaje de alimentación va de 90 – 135 VAC.</li><li>• Las fuentes ATX comerciales manejan potencia eléctrica de 300 Watts (W), 350 W, 400 W, 480 W, 500 W, 630 W, 1200 W y hasta 1350 W.</li><li>• Amperaje de salida máximo de 12 A.</li><li>• Salida de voltajes de 3.3 VDC, 5VDC, -5VCD, 12VCD, -12VCD.</li><li>• Frecuencia de 50/60 Hz.</li><li>• Es de encendido digital, es decir, tiene un pulsador en lugar de un interruptor mecánico.</li><li>• Algunos modelos integran un interruptor mecánico trasero para evitar consumo innecesario de energía eléctrica, evitando el estado de reposo.</li><li>• Integración de los puertos E/S en la propia placa base.</li><li>• El apagado de este tipo de fuentes puede ser manipulado con software.</li></ul>

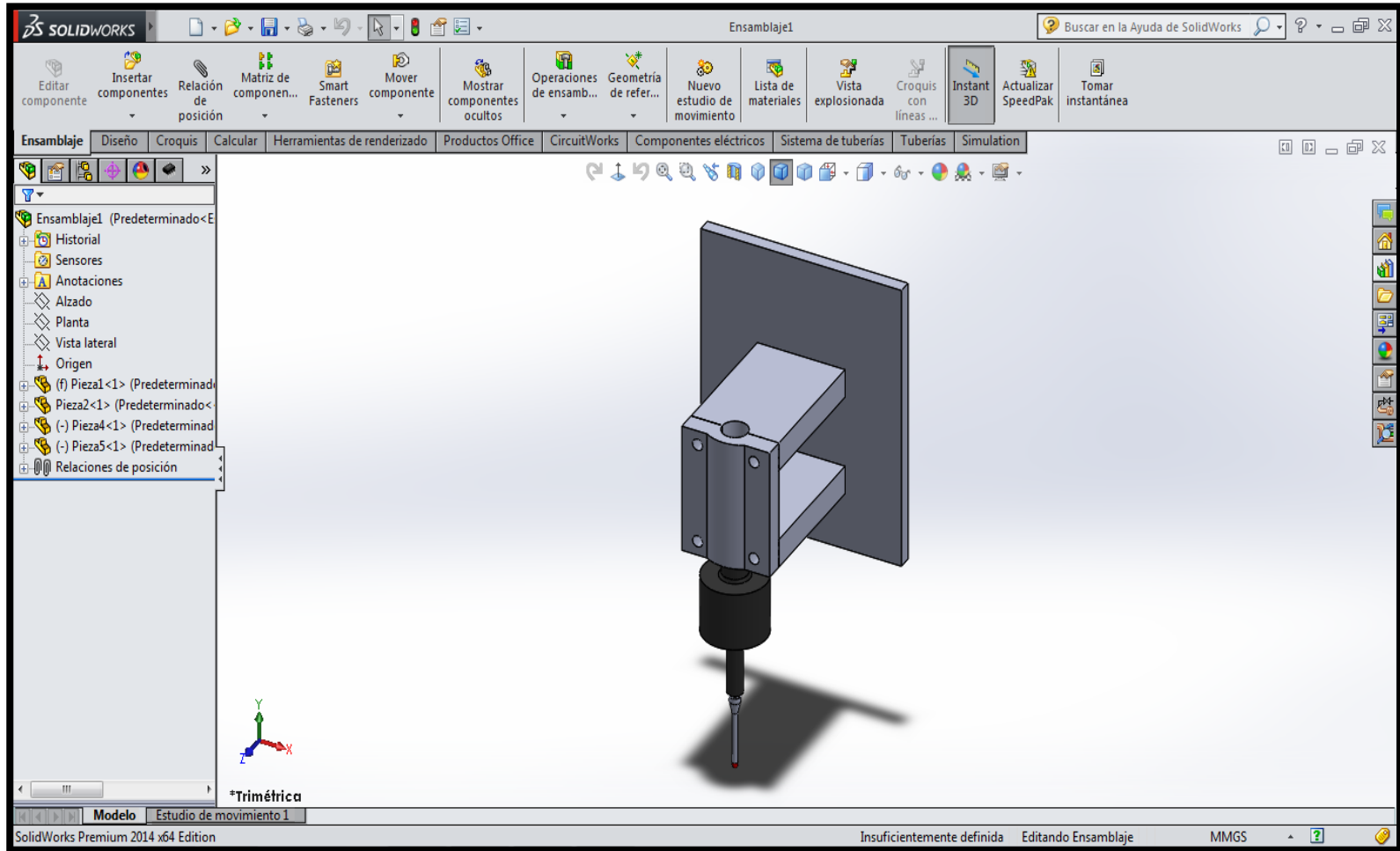


# DISEÑO DEL SOPORTE PARA SONDA DE MEDICIÓN

Para el diseño de la pieza de sujeción de la sonda de medición se utiliza el software SolidWorks 2014 para el modelamiento, la cual se fabricó en una impresora 3D en material ABS y tener el producto listo para su implementación en la estación de control de calidad



# DISEÑO DEL SOPORTE PARA Sonda DE MEDICIÓN



## Grbl bCNC

Grbl BCNC es un software libre y multiplataforma (Windows, Linux, Mac) escrito en Python, soportado por GRBL (Código abierto, integrado, de alto rendimiento de códigos G, analizador y un controlador de fresado CNC, escrito en C que se ejecutará en una plataforma de arduino), ideal para trabajar con hardware de bajo poder como el raspberry Pi y Arduino Uno Rev3, además poseer las herramientas básicas para trabajar un sistema CNC y es fácil de usar, emisor de comandos, autor reguladores, editor de código G, con todas las funciones del remitente g-código.



# SELECCIÓN DE SOFTWARE: BCNC

The screenshot displays the bCNC software interface. The main window title is "bCNC". The menu bar includes "File", "Control", "Sondeo", "Tools", and "Editor". The toolbar contains icons for "Desbloquear", "Reiniciar", "Sondeo", "Auto-nivelado", "Camera", and "Herramienta".

The status bar at the top indicates "Estado: Not connected". Below this, there are fields for "WPos:" and "MPos:" with sub-fields for "X=0", "Y=0", and "Z=0". A "Set WPOS" button and a "Move Gantry" button are also present.

The "Common" section includes a "Velocidad de sondeo:" field set to "120.0", a "TLO" field set to "0.0" with a "definir" button, and a "Comando de sondeo:" dropdown menu set to "G38.3 parar al tocar".

The "Sondeo" section has a "Sonda:" field, a "Goto" button, and a "Posición:" field with a "Sondeo" button.

The "Centrar" section has a "Diámetro:" field set to "40" and a "Centrar" button.

The "Orientar" section has a "Marcadores:" field set to "0" with an "Insertar" button, a "Gcode:" field with an "Eliminar" button, a "WPos:" field with a "Borrar datos" button, an "Ángulo:" field, a "Desplazamiento:" field, and an "Orientar" button.

The "Comando:" field is at the bottom left, and a "Tienda" button is below it. The status bar at the bottom right shows coordinates: "X: -235.5200 Y: -232.9600 Z: 0.0000".



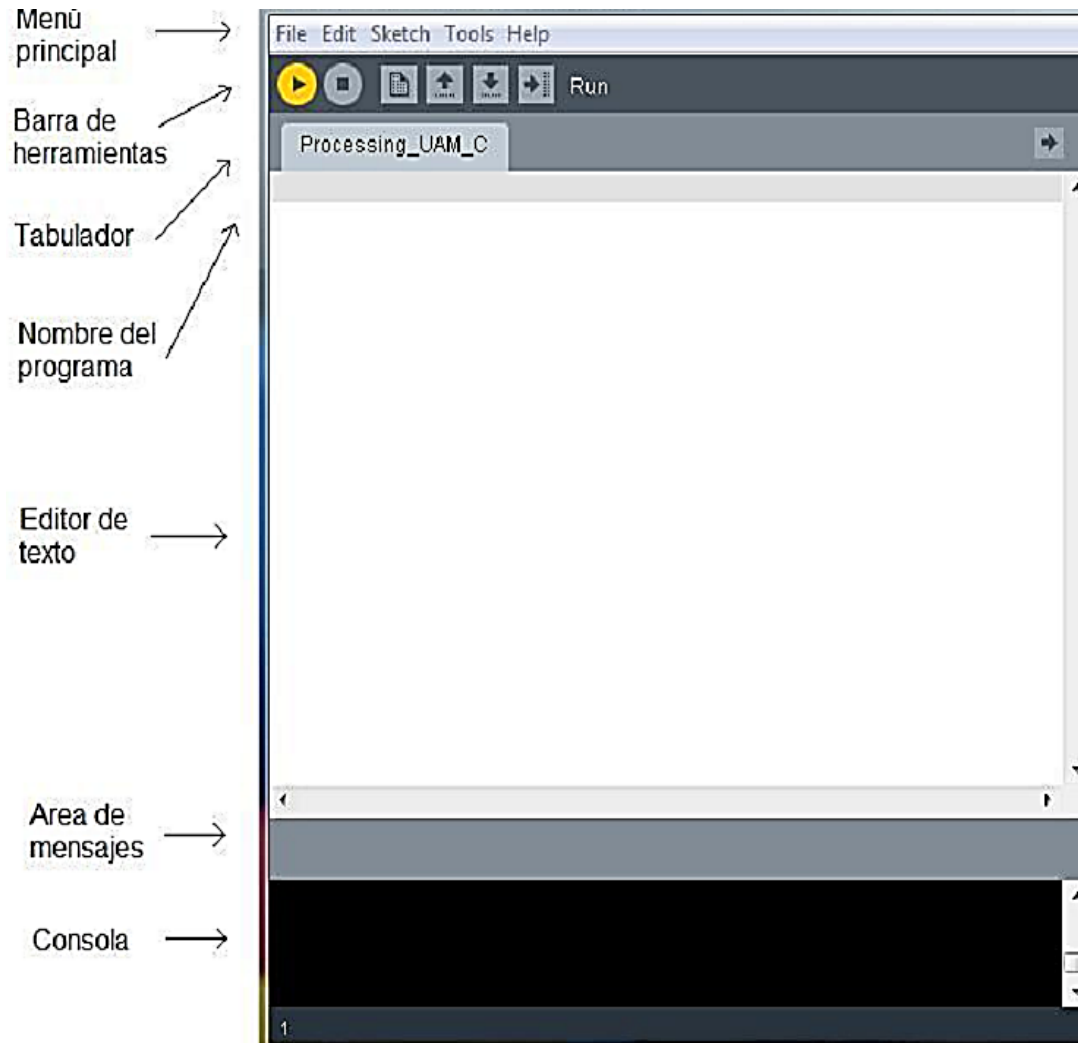
## Software Processing 3

Es un lenguaje de programación y entorno de desarrollo integrado IDE de código abierto basado en Java, de fácil utilización, y que sirve como medio para la enseñanza y producción de proyectos multimedia e interactivos de diseño digital, arte gráfico, animaciones y aplicaciones gráficas de toda índole.

Es un software libre y liviano, descargable desde la web, de programación similar a Arduino, dedicado para la comunidad de programadores en java, genera aplicaciones lista para funcionar en Mac OS, Windows Linux e inclusive en internet (como una aplicación de Java), permite tres tipos de programación, básica, estructurada y orientada a objetos. Admite la conexión de todo tipo de dispositivos, prototipos y aparatos móviles, ideal para proyectos elaborados con Arduino facilitando su comunicación y desarrollo.



# SELECCIÓN DE SOFTWARE: PROCESSING 3



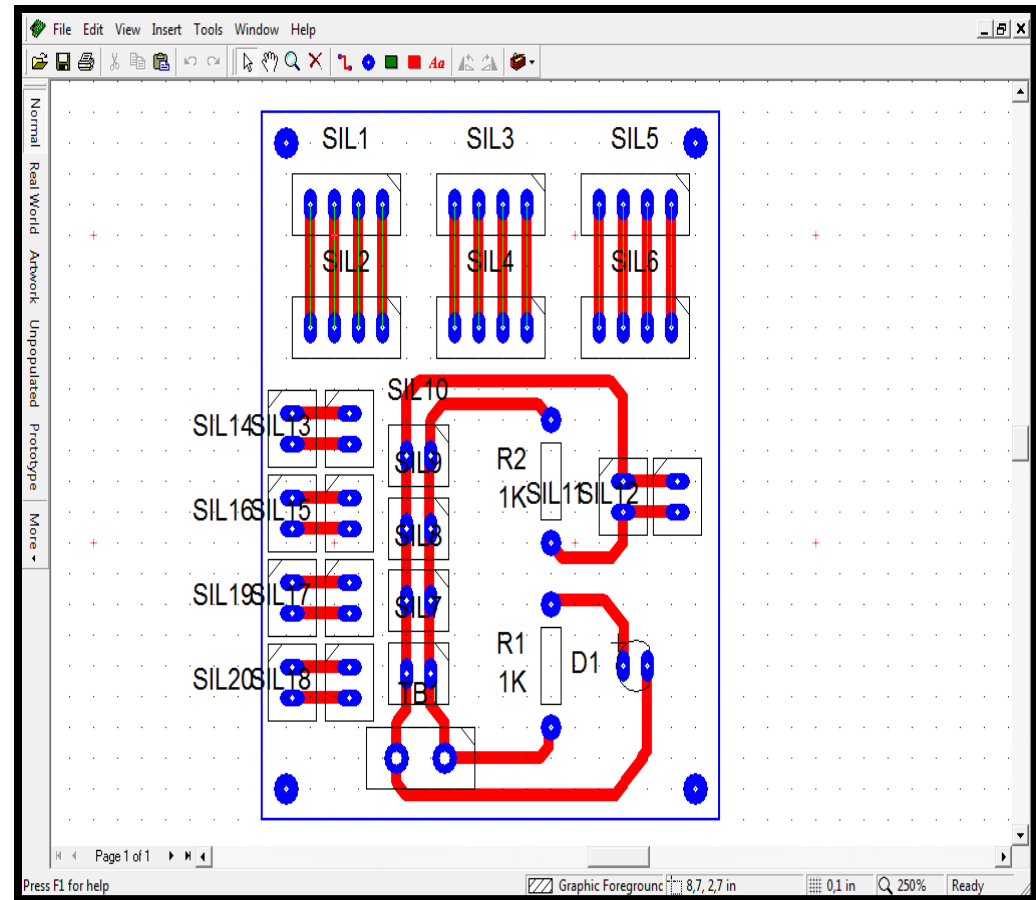


# DISEÑO HMI DE LA ESTACIÓN

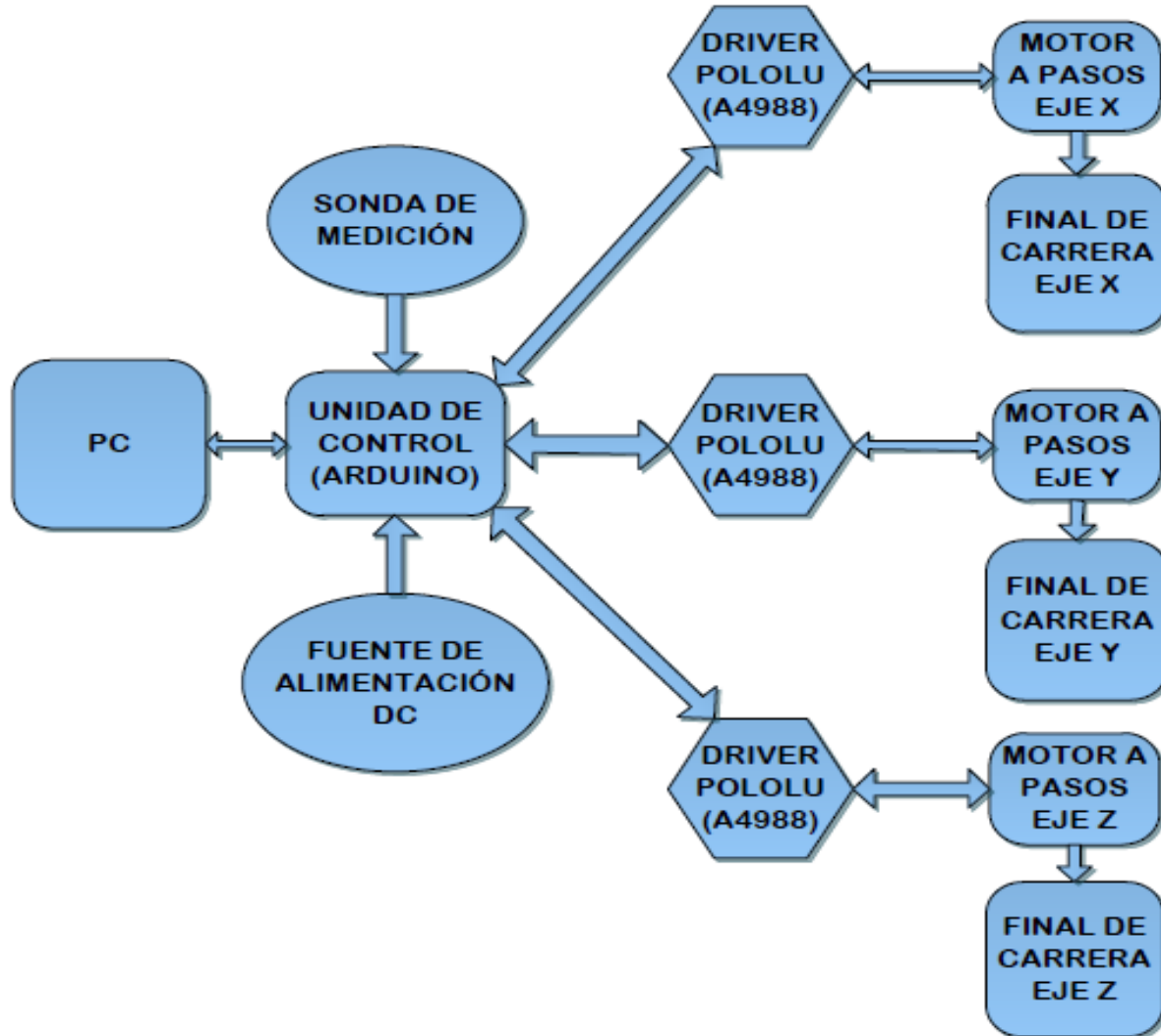


# DISEÑO PLACA PCB DE CONEXIONES

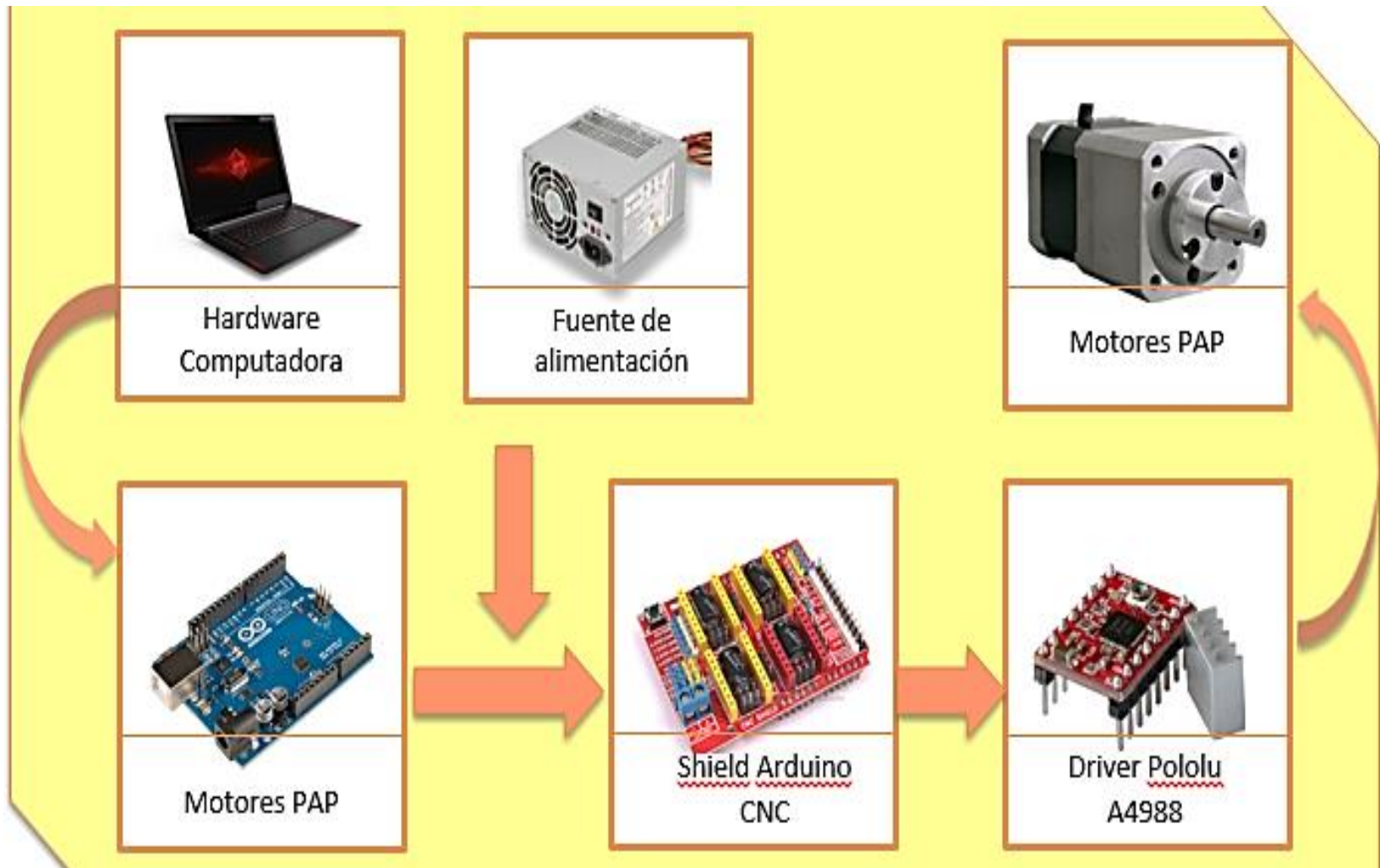
Para esta placa de circuito electrónico se elaboró el diseño en el software PCBWizard, en donde se realiza el diseño de las pistas para la interconexión de los tres motores pap Nema 17 hacia la tarjeta Shield CNC v3.0 y de una resistencia de 100 Ohm en Pull-Up para la señal de activación de la sonda de medición.



# SISTEMA DE CONTROL



# ARQUITECTURA GLOBAL FINAL DEL SISTEMA



# IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN DE CONTROL DE CALIDAD



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# IMPLEMENTACIÓN



**Implementación del sistema de control**



**Implementación de las conexiones eléctricas**

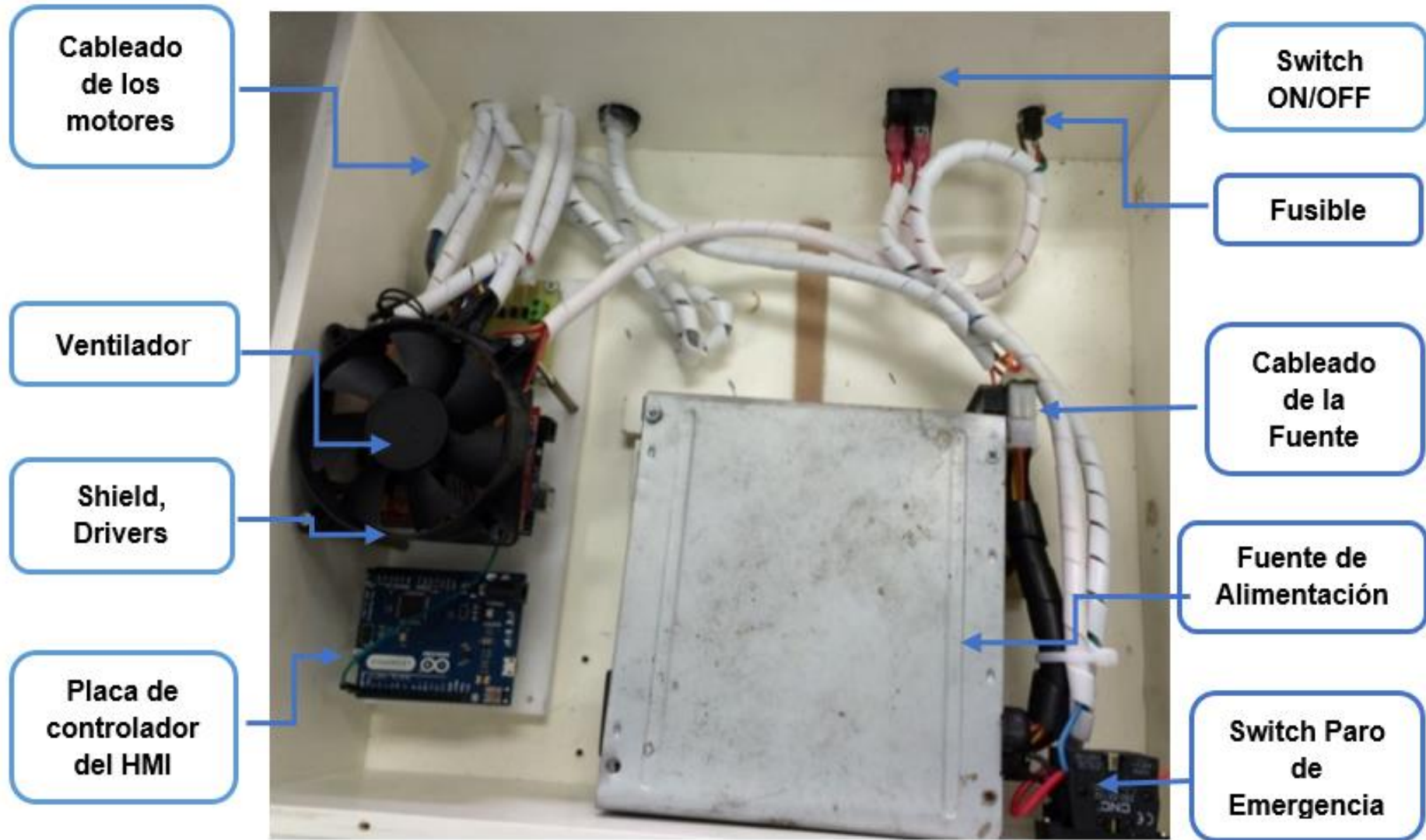


**Implementación de los software de control**



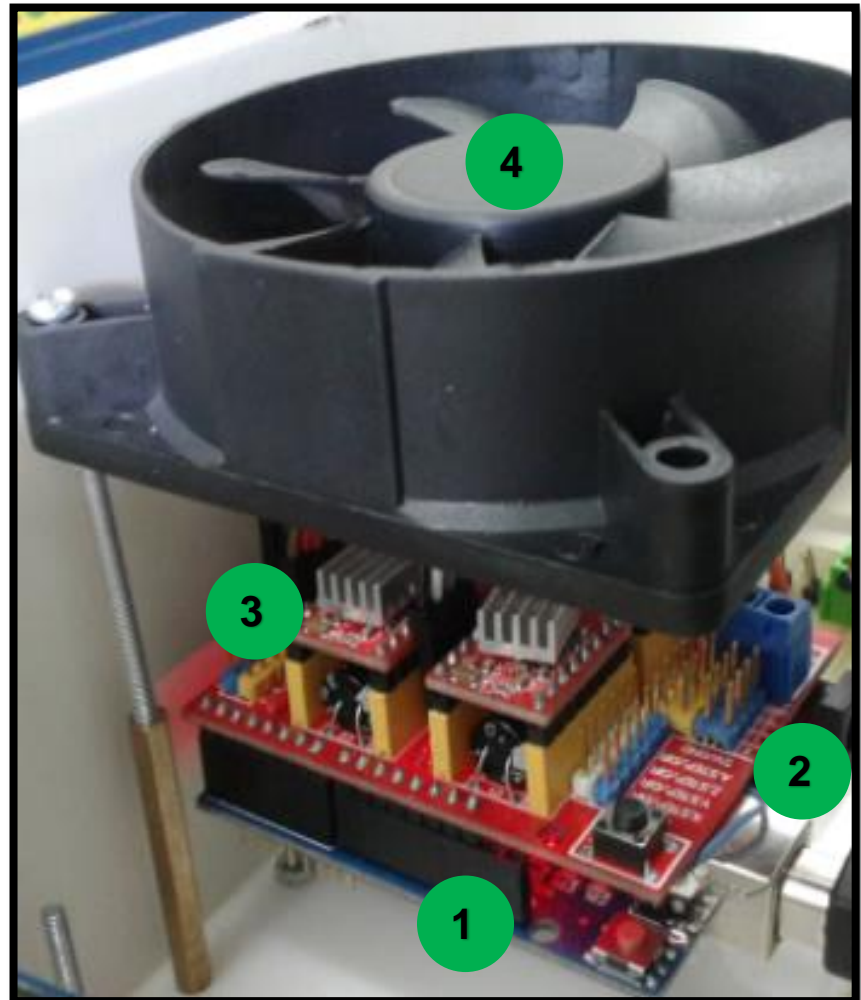
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL



## CONTROLADOR DE MOVIMIENTOS

- (1) Arduino Uno Rev 3
- (2) CNC Shield v3
- (3) Driver Pololu A4988
- (4) Ventilador

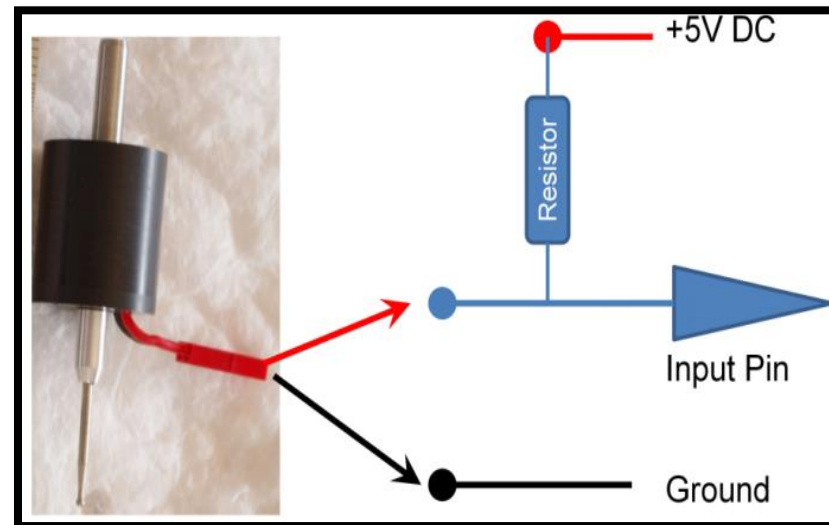




# IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

## CONEXIÓN ELÉCTRICA PARA LA SONDA DE PALPACIÓN

La sonda es un dispositivo simplificado que se comporta como un evidente interruptor normalmente cerrado (NC), donde la sonda está provista de un cable que se tendrá que conectarse al controlador y para lo cual las conexiones que necesita se muestra en la figura de a continuación , haciendo necesario hacer uso de una placa PCB diseñada en la sección anterior



# CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE BCNC

```
$0=10 (step pulse, usec)
$1=25 (step idle delay, msec)
$2=0 (step port invert mask:00000000)
$3=6 (dir port invert mask:00000110)
$4=0 (step enable invert, bool)
$5=0 (limit pins invert, bool)
$6=1 (probe pin invert, bool)
$10=3 (status report mask:00000011)
$11=0.020 (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=0 (homing cycle, bool)
$23=0 (homing dir invert mask:00000000)
$24=50.000 (homing feed, mm/min)
$25=310.000 (homing seek, mm/min)
$26=250 (homing debounce, msec)
$27=1.000 (homing pull-off, mm)
$100=160.000 (x, step/mm)
$101=160.000 (y, step/mm)
$102=160.000 (z, step/mm)
$110=310.000 (x max rate, mm/min)
$111=310.000 (y max rate, mm/min)
$112=310.000 (z max rate, mm/min)
$120=30.000 (x accel, mm/sec^2)
$121=30.000 (y accel, mm/sec^2)
$122=30.000 (z accel, mm/sec^2)
$130=180.000 (x max travel, mm)
$131=185.000 (y max travel, mm)
$132=60.000 (z max travel, mm)
ok
```

Cuando hace conexión entre la estación de control de calidad al programa Grbl bCNC y el computador, el software arranca con una lista de valores cargados actualmente en el sistema, donde todos estos ajustes son persistentes y se mantiene en la EEPROM, aunque se apaga el equipo



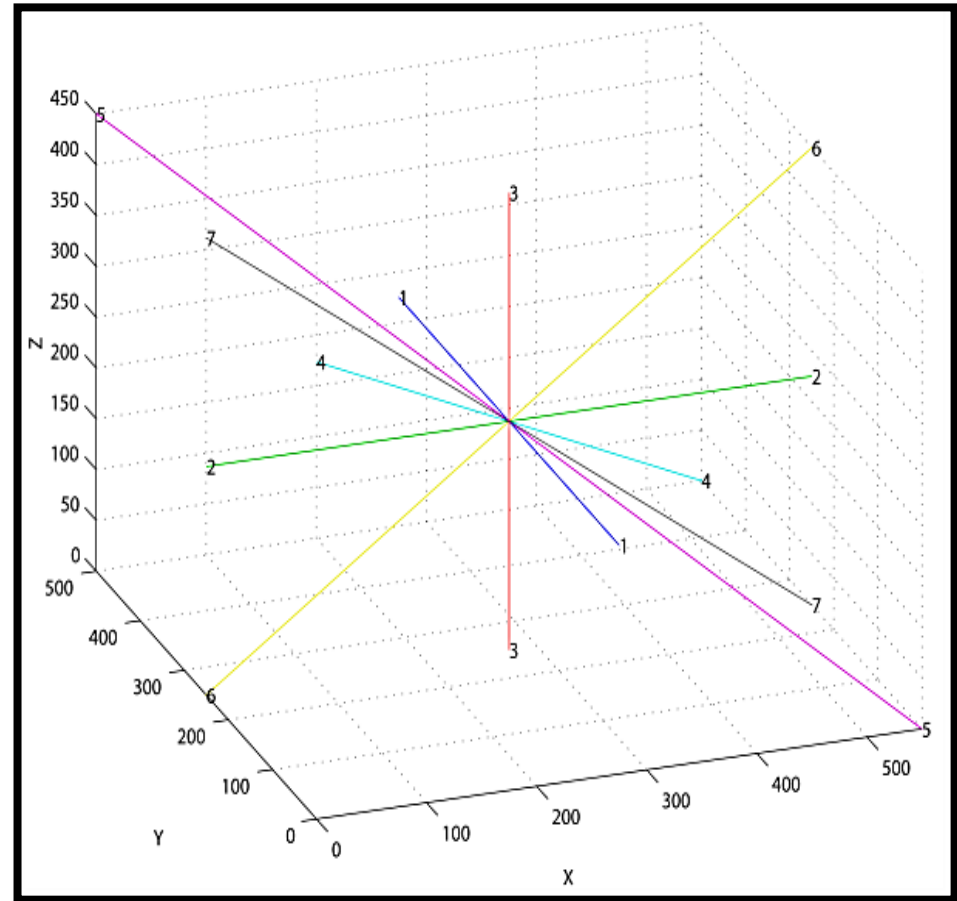
# PRUEBAS Y RESULTADOS



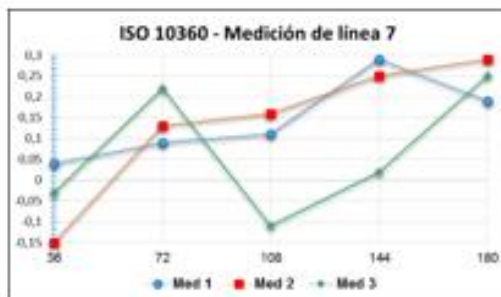
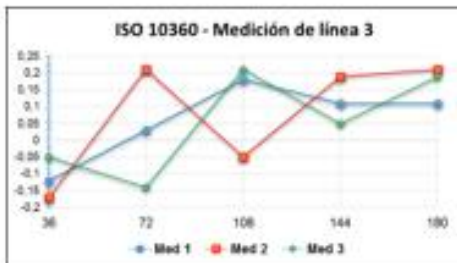
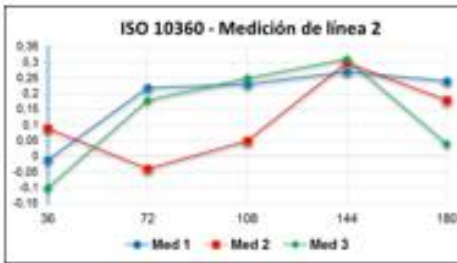
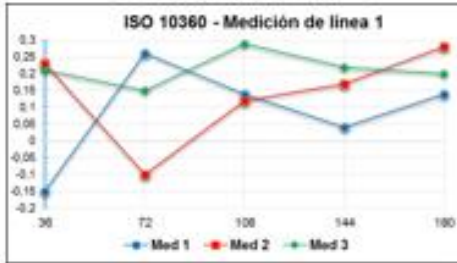
# PRUEBAS Y RESULTADOS

## Prueba de medición de error de longitud

La prueba se la lleva a cabo según ISO 10360-2, teniendo una longitud de compensación de 60 mm, donde se deben tomar 105 muestras, obtenidos con 5 diferentes longitudes de prueba, las cuales deben ser medidas 3 veces en 7 diferentes posiciones, tanto en localizaciones como en orientaciones dentro del volumen de medición de la estación



# RESULTADOS DE LA PRUEBA DE MEDICIÓN DE ERROR DE LONGITUD



Precisión	0.02 mm
Error porcentual en las mediciones	0.1087 %
Exactitud de medida	99.8913 %
Repetibilidad	0.13017 mm



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# PRUEBAS Y RESULTADOS

## Prueba de disparo de la sonda de palpación

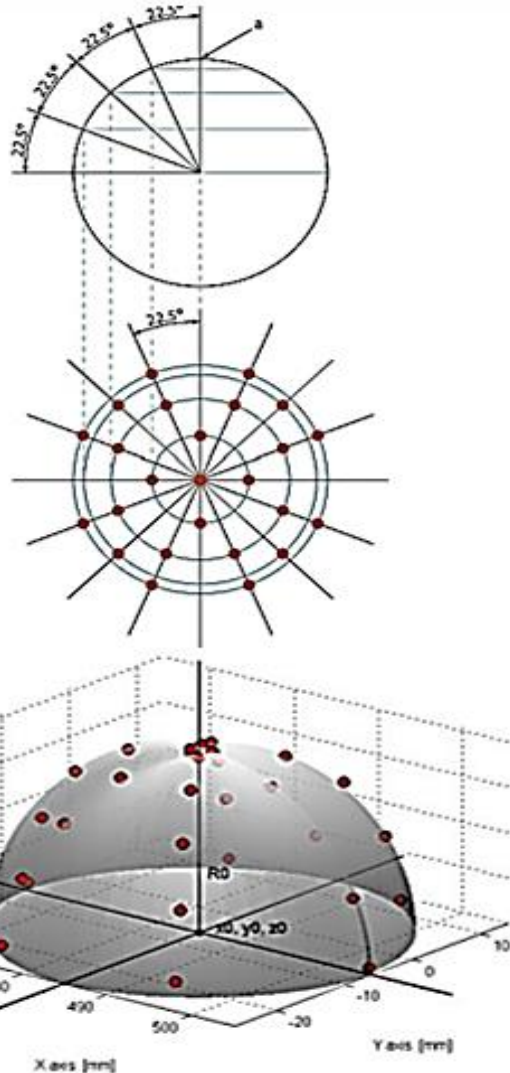


Se comprueba el correcto funcionamiento de la sonda de palpación mediante el uso de un osciloscopio en el cual al ser accionado por medio de un contacto se evidencia un pico de variación de voltaje y su gráfica representativa capturada como lo indica la figura de a continuación.



# PRUEBAS Y RESULTADOS

## Prueba de aceptación del sistema de palpación



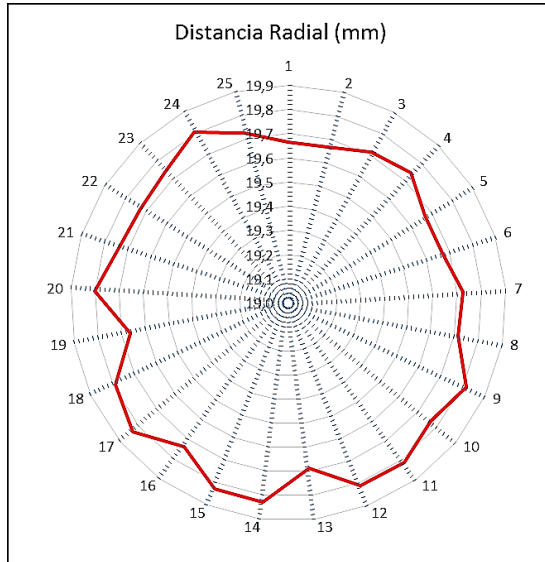
La prueba de aceptación de sondeo, establecido en la norma internacional ISO 10360-5: 2010.

La prueba se ejecuta con la ayuda de una esfera de 10 mm - 50 mm de diámetro, preferentemente de 30 mm como lo recomienda la norma y se procedió ubicando el mismo en el centro de área de trabajo de la estación y se tomó 25 muestras de valores de palpación, donde estos puntos deben contener los siguientes especificaciones:

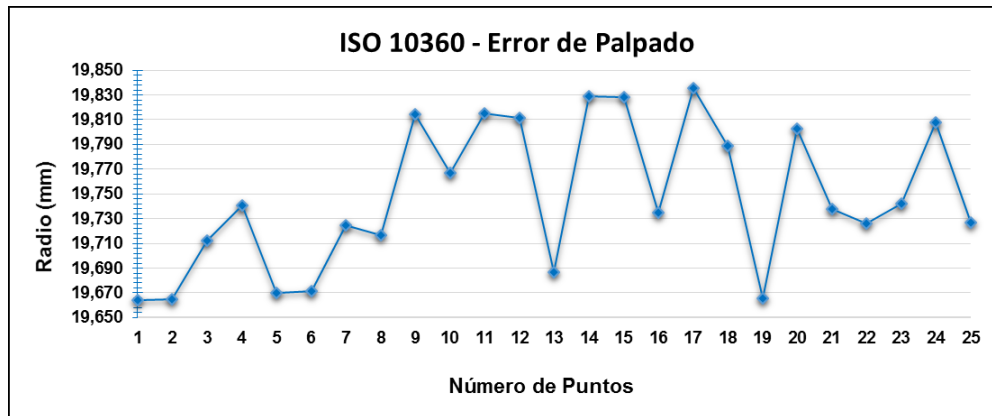


# PRUEBAS Y RESULTADOS

## Resultados de la prueba de aceptación del sistema de palpación



Se calculó la distancia radial de acuerdo a los tres puntos X, Y, Z, valores arrojados por GRBL, tomados en los 25 puntos de medición, de donde se obtiene el valor máximo y mínimo dándonos el valor de la desviación de la redondez de **0,17187588 mm**, resultando un valor de diámetro de **39,67175176 mm** en el punto de medición máximo, siendo el diámetro real de **39,65 mm**

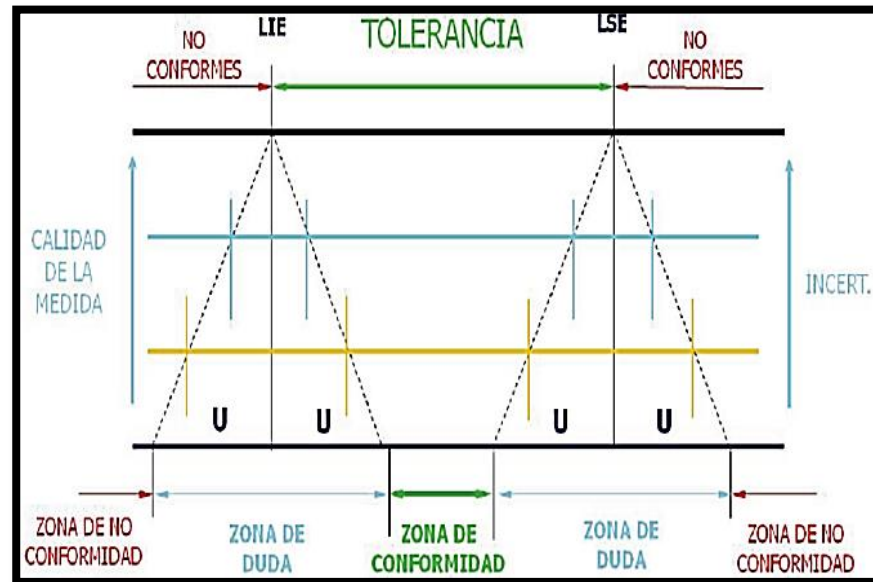




# PRUEBAS Y RESULTADOS

## Prueba de control de calidad

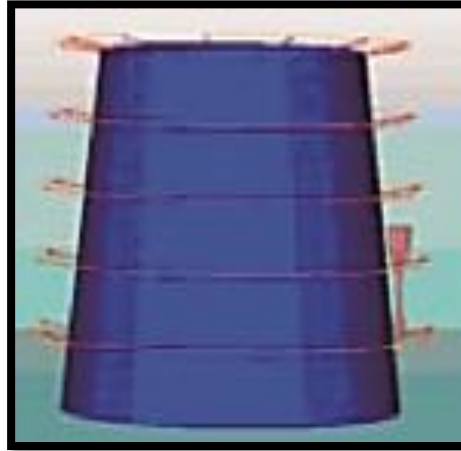
De acuerdo a la norma internacional ISO 17025 acreditadora de los sistemas de calidad de medición para laboratorios especializados en mediciones, especifica que el valor de incertidumbre debe ser de 3 a 10 veces menor al semi – intervalo de tolerancia asignado a la pieza a medirse, siendo éste el criterio de toma de decisión para aceptar o rechazar los elementos medidos.



# PRUEBAS Y RESULTADOS

## Prueba de control de calidad

La prueba consiste en tomar 72 muestras en 6 posiciones distintas de un cono, 12 veces tomadas en puntos indistintos, de donde se realizó los cálculos de promedio, desviación estándar de las muestras, desviación estándar de la media y finalmente cálculo de la incertidumbre de medición.



EL cono utilizado para la prueba tiene un valor de tolerancia de **0.6 mm** determinado por el fabricante, el valor de incertidumbre al 99% de nivel de confianza varía entre **0.048 mm** y **0.061 mm** siendo estos datos aproximadamente 6 veces menor al valor medio de la tolerancia establecida por el fabricante, por lo que se puede concluir que las mediciones realizadas por la estación de control de calidad arrojan un valor de medida muy cercano a la real y estos se encuentran dentro del criterio de aceptación de la norma ISO 17025



# VALIDACIÓN DE LAS HIPÓTESIS

La hipótesis planteada en el proyecto es la siguiente:

¿El diseño e implementación de una celda de manufactura flexible de orden aleatorio y distribución en línea con control de calidad para prácticas de FMS en el laboratorio de CNC, ayudará al desarrollo de prácticas de Sistemas Flexibles de Manufactura de la ESPE Extensión Latacunga?

**Hipótesis de trabajo:** El desarrollo de prácticas de Sistemas Flexibles de Manufactura depende del diseño e implementación de una celda de manufactura flexible de orden aleatorio y distribución en línea con control de calidad.

**Hipótesis nula:** El desarrollo de prácticas de Sistemas Flexibles de Manufactura es independiente del diseño e implementación de una celda de manufactura flexible de orden aleatorio y distribución en línea con control de calidad.



# VALIDACIÓN DE LAS HIPÓTESIS

## Cálculo del chi cuadrado

### Frecuencia observada

Prácticas de FMS /Celda de manufactura flexible de orden aleatorio y distribución en línea con control de calidad	Sujeción de pieza	Medición	Control de calidad	Total
Dependientes	3	1	0	4
Independientes	4	5	5	14
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>18</b>

$$\chi^2_{calc} = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

### Frecuencia esperada

Prácticas de FMS /Celda de manufactura flexible de orden aleatorio y distribución en línea con control de calidad	Sujeción de pieza	Medición	Control de calidad	Total
Dependientes	1.55	1.33	1.11	4
Independientes	5.44	4.66	3.88	14
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>18</b>

$$\chi^2_{calc} = 3.27$$



# VALIDACIÓN DE LAS HIPÓTESIS

## Cálculo del chi cuadrado mediante tabla

$$v = (\text{cantidad de filas} - 1) * (\text{cantidad de columnas} - 1)$$

$$v = 2$$

DISTRIBUCION DE  $\chi^2$

Grados de libertad	Probabilidad										
	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,01	0,001
1	0,004	0,02	0,06	0,15	0,46	1,07	1,64	2,71	3,84	6,64	10,83
2	0,10	0,21	0,45	0,71	1,39	2,41	3,22	4,60	5,99	9,21	13,82
3	0,35	0,58	1,01	1,42	2,37	3,66	4,64	6,25	7,82	11,34	16,27
4	0,71	1,06	1,65	2,20	3,36	4,88	5,99	7,78	9,49	13,28	18,47
5	1,14	1,61	2,34	3,00	4,35	6,06	7,29	9,24	11,07	15,09	20,52
6	1,63	2,20	3,07	3,83	5,35	7,23	8,56	10,64	12,59	16,81	22,46
7	2,17	2,83	3,82	4,67	6,35	8,38	9,80	12,02	14,07	18,48	24,32
8	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,52	11,03	13,36	15,51	20,09	26,12
9	3,32	4,17	5,38	6,39	8,34	10,66	12,24	14,68	16,92	21,67	27,88
10	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34	11,78	13,44	15,99	18,31	23,21	29,59
	No significativo								Significativo		

$$x^2_{\text{tabla}} = 5.99$$

$$\text{Si } x^2_{\text{calc}} \leq x^2_{\text{tabla}}$$

Se acepta la hipótesis nula

$$\text{Si } x^2_{\text{calc}} > x^2_{\text{tabla}}$$

Se acepta la hipótesis de trabajo

$$x^2_{\text{calc}} = 3,27 < x^2_{\text{tabla}} = 5.99$$



# ANÁLISIS FINANCIERO DE COSTOS

## Nómina de elementos utilizados en la estación de control de calidad

No.	Descripción	Cant.	P. Unit. \$	P. Total %
1	Mesa de posicionamiento	1	280,00	280,00
2	Soporte de Sonda de Medición	1	42,50	42,50
3	Mesa de la estación	1	25,00	25,00
4	Pulsadores NA, finales de carrera	4	0,95	3,80
5	Interruptores NA, finales de carrera	2	1,25	2,50
6	Sonda de disparo por contacto	1	265,00	265,00
7	Juego de palpadores	4	12,00	48,00
8	Arduino Uno Rev3	2	25,00	50,00
9	CNC Shield Arduino v3	1	25,00	25,00
10	Driver Pololu A4988	3	8,00	24,00
11	Placa de conexión PCB	1	12,00	12,00
12	Fuente de Alimentación ATX	1	20,00	20,00
13	Ventilador	1	4,50	4,50
14	Pulsador tipo hongo	1	3,50	3,50
15	Luces piloto 110V	2	2,25	4,50
16	Acrílico (50 x 50 cm)	1	8,75	8,75
17	Cable flexible AWG 20 (8 m)	3	12,00	36,00
18	Cables puente Macho-hembra	35	0,20	7,00
19	Swich	1	0,50	0,50
20	Fusible	1	1,25	1,25
21	Tornillos y pernos	30	0,20	6,00
22	Espiral pequeño (10 m)	2	6,50	13,00
23	Otros	1	250,00	250,00
<b>TOTAL</b>				<b>1124.80</b>

## Costo de mano de obra

No.	Descripción	Salario	Tiempo (Meses)	P. Total %
1	Ingeniero en Mecatrónica	380,00	12	4560,00
2	Ingeniero en Mecatrónica	380,00	12	4560,00
<b>TOTAL</b>				<b>9120,00</b>

Elaborando un sumatorio de todos los valores mencionados anteriormente, se tiene que para la implementación de la estación de control de calidad se realizó una inversión total de **10.244,80 USD**



# ANÁLISIS FINANCIERO DE COSTOS

En la actualidad, existe numerosas empresas y fabricas dedicadas a la construcción de máquinas de medición que van desde los más sencillos instrumentos hasta las maquinarias más complejas para control de calidad, pero contraproducentemente no se encuentran en el mercado nacional, siendo una de las principales Mitutoyo, quienes ofrecen una gran variedad de maquinarias semejantes a nuestro proyecto en donde la de más cercanas características es la Crysta Plus M544, la cual está valorado en **48.567,00 USD**.



Efectuando una comparación de estos valores, determinando como el 100%, al costo de la máquina del mercado, se obtiene como resultado que el proyecto implementado permite un ahorro de **38.322,22 USD**, de este valor se saca el porcentaje de ahorro del 78.90% que se logró al implementar la estación de control de calidad



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES





# CONCLUSIONES

- Las pruebas acerca del correcto funcionamiento de la estación de control de calidad se las realizó en base a la norma ISO 10360, especializada en el análisis de máquinas de medición por coordenadas, las cuales nos permitieron determinar las características reales del prototipo.
- Este prototipo que se encuentra dentro de los rangos de aceptación de acuerdo a las normas internacionales ISO 10360 y 17025, teniendo una precisión de 0.02 mm, exactitud del 99.8913%, repetibilidad de 0,13017752 mm, error de desviación de redondez de 0,179131801 mm y un valor de incertidumbre de medición de aceptación aproximado de 6 veces menor a la tolerancia al 99% de nivel de confianza.
- Se realizó el proceso de control de calidad de las piezas tanto en la parte superior como los laterales, estableciendo los parámetros determinados según la forma de la pieza y a través del software Grbl se obtuvo los valores en los cuales fueron introducidos en el HMI arrojándonos los resultados del control de calidad.
- Se desarrolló dos programas para el control de calidad de las piezas de prueba, permitiendo obtener los movimientos deseados y la introducción de las sentencias de control para activación de palpación, resultando exitoso todos los procesos de control de calidad.



# CONCLUSIONES

- La interfaz gráfica HMI se la desarrolló de una manera sencilla, simplificada y sumamente intuitivo para el manejo, registro y observación del proceso de control de calidad.
- Mediante el uso del hardware implementado en la estación de control de calidad se puede realizar e implementar impresoras y máquinas de similar comportamiento debido a que dichos elementos ofrece las funcionalidades y capacidades en cuanto a librerías y actividades que se las puede aprovechar en otro proyecto semejante.
- Con la implementación de este proyecto se facilita las prácticas de Sistemas Flexibles de Manufactura para su enseñanza a los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas sede Latacunga, en el laboratorio de CNC, poniendo a su disposición la manipulación, manejo y facilidad de mejoramiento de la estación de control de calidad.
- Se logró diseñar e implementar una celda de manufactura flexible de orden aleatorio y distribución en línea con control de calidad para prácticas de FMS para el laboratorio de CNC, que ayudará al desarrollo de prácticas de Sistemas Flexibles de Manufactura de la ESPE Extensión Latacunga.



# RECOMENDACIONES

- Se observa ineludiblemente optimizar el sistema de control de calidad mediante una comunicación directa entre los dos software de control, Grbl y Processing para que los datos de medición ingresen directamente al HMI, sin la necesidad de transcribir por medio del teclado.
- Debido a que la estación de control de calidad cuenta con partes mecánicas remotas, con el tiempo presentaran desgastes, por lo cual es aconsejable dar mantenimiento y lubricación a los componentes con una regularidad frecuente para prolongar la vida de la misma, así como mantener la precisión en el proceso de control de calidad.
- Se considera necesario establecer en cada arranque del software Grbl antes de mover los ejes de su posición inicial, seleccionar “cero pieza”, para que el programa establezca las coordenadas correctas.
- Es obligatorio observar los pasos de colocación de la pieza a ser medida para que el proceso de control de calidad se realice de manera correcta.



# RECOMENDACIONES

- Es necesario observar la dimensión aceptable máximas de las piezas a medirse, el cual no debe superar los 140 mm de largo, 120 mm de ancho y 50 mm de altura, por motivo del recorrido de los ejes, haciendo imposible la medición en piezas fuera de este tamaño.
- Se recomienda elaborar otro soporte para la sonda de medición, la cual pueda colocar la misma de manera más elevada en el eje Z, obteniendo de esta forma la posibilidad de medir piezas con mayor altura que los 50 mm, inclusive en el eje Y se puede recorrer la sonda aproximadamente 10 mm y alcanzar piezas de mayor ancho que los 120 mm.
- Para el presente proyecto se recomienda cambiar el sistema de fijación de la pieza a algún sistema de cerrado automático para poder tener menos intervención del operación y una mayor automatización



**GRACIAS POR SU  
ATENCIÓN**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA