

UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# ***Sistema de Inspección de la herramienta en el taladrado de piezas***

**Lizeth Paola Herrera Baquero**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Bogotá D.C. , Colombia  
2017

# ***Sistema de Inspección de la herramienta en el taladrado de piezas***

**Lizeth Paola Herrera Baquero**

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Automatización Industrial**

Director:

Ph.D. Flavio Augusto Prieto Ortiz

Línea de Investigación:

Automatización Industrial

Grupo de Investigación:

Grupo de Automática de la Universidad Nacional (GAUNAL)

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Bogotá D.C. , Colombia

2017

# Dedicatoria

---

A mis padres,  
quienes siempre han estado conmigo en todo momento,  
ayudándome y apoyándome en  
todos los proyectos que me he propuesto.

A mis hermanas,  
quienes son dos ángeles que Dios  
puso en mi camino para acompañarme.

A todos aquellos que hicieron posible este trabajo.

# Agradecimientos

---

El autor agradece a Flavio Prieto, quien tuvo la disposición para guiar el desarrollo de este Trabajo de grado con sus conocimientos y experiencia en procesamiento de imágenes, por el cual siento gran respeto y admiración.

El autor agradece al grupo de investigación GAUNAL, por realizar una realimentación constante del conocimiento del grupo, en pro de mejorar los resultados.

El autor agradece a la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá D.C., por brindar espacios académicos para educar excelentes profesionales.

El autor agradece a INDHER, por prestar sus instalaciones y maquinaria para el desarrollo de este trabajo de grado.

En general el autor agradece a todas las personas o entidades involucradas en este trabajo de grado que permitieron que se desarrollara con éxito.

# Resumen

Este documento presenta el desarrollo de una aplicación, que permite el correcto funcionamiento de una broca en el taladrado de piezas específicas. Consta de dos etapas principales, la primera una etapa de procesamiento en el pre-taladrado, donde se verifican las posiciones iniciales de la broca con respecto a la pieza, el ángulo de corte, diámetro y longitud de la misma. La segunda es una etapa de procesamiento online, donde por medio de una interacción continua con el software Mach3®, se verifica en espacios específicos de tiempo, el ángulo de corte y la longitud de la broca, todo esto con el fin de realizar una retroalimentación con el usuario y determinar el estado actual de la herramienta. Para este desarrollo se utilizaron técnicas de visión de máquina de bajo costo computacional, con el fin de disminuir tiempos en el procesamiento y obtener una representación de la escena lo más real posible.

**Palabras clave: Detección de contornos, Cero de pieza, taladrado.**

# Abstract

This document presents the development of an application, which allows the correct operation of a drill bit in the drilling of specific pieces. It consists of two main stages, the first stage of processing in the pre-drilling, where the initial positions of the drill with respect to the piece, the cutting angle, diameter and length of the drill are verified. The second is an online processing stage where by means of a continuous interaction with the Mach3® software, the cut-off angle and the length of the drill are verified in the specific time spaces, all this in order to make a feedback with the user and to be able to determine the current state of the tool. For this development, use the techniques of low-computation machine vision, in order to reduce processing times and obtain a representation of the most real scene possible.

**Keywords: Contour detection, piece zero, drilling.**

# Índice general

<b>Resumen</b>	<b>V</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>XII</b>
<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>1. Fundamentación Teórica</b>	<b>8</b>
1.1. Taladrado de piezas . . . . .	8
1.1.1. Fallas en el mecanizado. . . . .	9
1.1.2. CNC . . . . .	10
1.2. Procesamiento de Imágenes . . . . .	11
1.2.1. Espacios de color . . . . .	11
1.2.2. Detección de bordes . . . . .	15
1.2.3. Detección de líneas y curvas . . . . .	15
<b>2. Desarrollo</b>	<b>17</b>
2.1. Diseño mecánico . . . . .	17
2.1.1. Selección de cámara . . . . .	17
2.1.2. Selección de vistas . . . . .	21
2.1.3. Diseño del soporte . . . . .	22

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	VIII
2.2. Sistema de visión de máquina . . . . .	23
2.2.1. Procesamiento inicial . . . . .	23
2.2.2. Mecanizado Online . . . . .	28
2.3. Interfaz de usuario . . . . .	30
2.3.1. Bienvenida . . . . .	32
2.3.2. Calibración Inicial . . . . .	34
2.3.3. Inspección Online . . . . .	37
<b>3. Evaluación del sistema</b>	<b>38</b>
3.1. Dispersión de Datos, exactitud y resolución del sistema. . . . .	38
3.2. Control de calidad . . . . .	42
3.2.1. Cero de Pieza . . . . .	43
3.2.2. Procesamiento Online . . . . .	43
3.3. Costos y tiempos . . . . .	44
<b>4. Conclusiones</b>	<b>46</b>
<b>Anexos</b>	<b>48</b>
Anexo A. Planos diseño mecánico . . . . .	48
Anexo B. Preguntas Frecuentes. . . . .	51
Anexo C. Manual de Operación . . . . .	52
<b>Bibliografía</b>	<b>80</b>



# Índice de figuras

1. Brocas y Piezas para el taladrado. . . . .	6
1.1. Desgaste en una Broca. . . . .	9
1.2. Astillamiento en una Broca. . . . .	10
1.3. Ruptura de una Broca. . . . .	10
1.4. Mach3® . . . . .	12
2.1. Microscopio Digital USB . . . . .	18
2.2. Máquina CNC. . . . .	19
2.3. Espacio libre para ubicación del sistema en la Máquina CNC. . . . .	19
2.4. Medidas y distancias de la cámara. . . . .	19
2.5. Leds y control de iluminación de la cámara. . . . .	20
2.6. Coordenadas de los ejes primarios. . . . .	21
2.7. Vista lateral y diagonal. . . . .	22
2.8. Medidas en mm del soporte. . . . .	22
2.9. Detalles del Soporte. . . . .	23
2.10. Ensamblaje sistema. . . . .	23
2.11. Mecheros. . . . .	24
2.12. Metodología para detectar cero de pieza. . . . .	25
2.13. Zonas de la fotografía en vista diagonal y lateral. . . . .	25

2.14. Bordes a detectar en vista diagonal y lateral, junto con la nueva zona de búsqueda de la herramienta. . . . .	26
2.15. Líneas detectadas en pieza y herramienta. . . . .	27
2.16. Vibración Herramienta. . . . .	28
2.17. Movimiento de la herramienta. . . . .	29
2.18. Metodología procesamiento Online. . . . .	30
2.19. Diagrama de Flujo de las alertas programadas. . . . .	31
2.20. Pantalla de bienvenida. . . . .	32
2.21. Menú Archivo. . . . .	33
2.22. Menú Opciones. . . . .	33
2.23. Menú Configuración. . . . .	33
2.24. Menú Ayuda. . . . .	33
2.25. Paso 1. Seleccionar Pieza. . . . .	34
2.26. Paso 2. Seleccionar Vista, vista lateral. . . . .	35
2.27. Paso 2. Seleccionar Vista, vista diagonal. . . . .	35
2.28. Paso 3. Procesamiento de Imagen, vista lateral, modo error. . . . .	36
2.29. Paso 3. Procesamiento de Imagen, vista diagonal, modo normal. . . . .	36
2.30. Paso 3. Procesamiento de Imagen, vista lateral, modo normal. . . . .	37
2.31. Ventana inspección de la herramienta. . . . .	37
3.1. Sistema físico para la medición del error. . . . .	39
3.2. Muestras tomadas para la distancia x. . . . .	40
3.3. Muestras tomadas para la distancia y. . . . .	40
3.4. Muestras tomadas para la distancia z. . . . .	40
3.5. Muestras tomadas para el largo de la herramienta. . . . .	41
3.6. Muestras tomadas para el diámetro de la herramienta. . . . .	41

3.7. Muestras tomadas para el ángulo de la herramienta. . . . .	41
3.8. Vista superior de piezas terminadas. . . . .	42
3.9. Vista inferior de piezas Terminadas. . . . .	42
3.10. Resultados obtenidos en las piezas. . . . .	43
3.11. Instalación correcta e incorrecta de la herramienta. . . . .	44
3.12. Imagen con ángulo de corte de 90° sin alarma, con ángulo de corte de 90.9° con alarma de advertencia y con ángulo de corte 50° con alarma de parada. . . . .	44

# Índice de tablas

2.1. Especificaciones técnicas de la cámara. . . . .	21
2.2. OEMCodes . . . . .	29
2.3. FCodes. . . . .	29
2.4. Comparación entre C# y Python . . . . .	31
3.1. Error en distancias. . . . .	39
3.2. Medidas tomadas del Largo de la herramienta. . . . .	39
3.3. Tabla resumen error y dispersión de datos para cada medida. . . . .	42
3.4. Ruptura de brocas. . . . .	45

# Objetivos

## General

Realizar un sistema de inspección que permita identificar los diferentes problemas asociados a la broca en el taladrado de piezas empleando visión por computador.

## Específicos

1. Diseñar e implementar un soporte mecánico como base para el sistema de calibración de imagen de la herramienta.
2. Definir el protocolo de adquisición de imágenes, empleando técnicas de visión por computador para encontrar y determinar el cero de pieza.
3. Desarrollar un algoritmo que, en tiempo real y en un proceso de mecanizado, permita encontrar posibles fallas relacionadas con el estado de la broca (Diámetro, longitud, paralelismo y movimiento), mediante el análisis visual de la escena.
4. Evaluar el sistema completo en el taladrado de múltiples piezas.

# Introducción

---

A través de la historia se ha visto la evolución de los procesos de mecanizado, empezando por aquellos que se realizaban manualmente antes del siglo XVIII, cuando surgió la revolución Industrial, la cual aplicando principios básicos como presión, temperatura y mecánica, logró establecer un cambio radical en la industria y en general en los procesos de manufactura. Actualmente, con la llegada de los computadores y microcontroladores, se ha buscado automatizar aquellos procesos repetitivos que el ser humano tiene que realizar continuamente, como es el caso de las máquinas CNC, donde a partir de ciertos comandos de programación se obtienen diferentes respuestas en las máquinas de mecanizado (Torno, Fresadora, electroerosionadora, taladro, etc. . . ).

En algunos casos, debido al costo económico que implica este tipo de automatización en la industria, se automatiza parcialmente, y los procesos básicos o primarios los realiza un operario, esto conlleva al error que siempre está presente en las actividades que realiza el ser humano. Para solventar este tipo de error se han diseñado diferentes metodologías con el fin de verificar la correcta producción de las máquinas, principalmente se encuentran dos maneras de realizar esta verificación, la primera es realizando un control de calidad a las piezas ya terminadas y la segunda verificando el funcionamiento correcto de la herramienta en el proceso de mecanizado.

## Control de calidad de piezas terminadas

En la industria en general, realizar el control de calidad de las piezas es un paso muy importante, debido a que el producto debe estar libre de defectos antes de que llegue a los respectivos clientes. En la actualidad, la inspección visual es una tendencia que está siendo bastante utilizada y sobre la cual se han realizado distintos avances. En general se encuentran 5 pasos que se deben tener en cuenta a la hora de hacer una inspección: el primero es tener en funcionamiento el elemento que se piensa inspeccionar, el segundo es preparar el elemento con que se va a inspeccionar, el tercero es buscar el defecto que se piensa puede tener, el cuarto es comparar contra un objeto defectuoso y, por último, responder y decidir según la comparación si pasa o no el proceso del control de calidad [1]. En cuanto

al control de calidad de las piezas terminadas se encuentran un buen número de trabajos desarrollados, en ellos se deben tener en cuenta varios aspectos importantes, como por ejemplo; la cámara, el movimiento que va a tener la herramienta, la iluminación, determinar adecuadamente la altura de la cámara y el sensor. Por otra parte se debe considerar como determinar el defecto ya sea por color, posición o cierta combinación entre los dos, que permita determinar algún parámetro determinístico de la pieza el cual, al llevarlo a un sistema de comparación, permita identificar si se encuentra dentro del rango permitido [2].

Uno de los mayores problemas que se presentan en los trabajos por visión en 3 y 2 dimensiones, es el tiempo de procesamiento y la conexión de la información recibida por la cámara hacia el computador o equipo que procesa dicha información, para solucionar este tipo de problemas se han desarrollado diferentes protocolos como SCSI 3, VESA e ISA, los cuales alcanzan a minimizar el error por transmisión de datos. Sin embargo, debido a que la técnica de visión de máquina en la actualidad se está utilizando en gran escala, los avances continuos sobre el tema han ido aumentando y mejorando constantemente [3]. Otros aspectos que deben cumplirse son: la resolución temporal, que consiste en capturar la imagen en un tiempo específico; la resolución espacial, que busca detectar la mayoría de información en todas las imágenes tomadas; el tercer aspecto a tener en cuenta es la resolución en escala de grises y, el último, es la resolución espectral o a color. Para cumplir estas características se deben tener en cuenta el hardware que se está utilizando, ya que dependiendo por ejemplo del tipo de sensor (arreglo lineal, arreglo matricial o TDI), puede depender su aplicación debido a que cada configuración tiene sus ventajas y desventajas [4]. Se han desarrollado algoritmos que, junto con sensores CMOS, mejoran y permiten realizar un procesamiento confiable sobre las imágenes. Por ejemplo, para estimar si la imagen contiene suficiente información relevante sobre la escena, se realiza en [5] una comparación entre varias imágenes sucesivas, partiendo de que se cuentan con las mismas condiciones ambientales en las tomas de las imágenes, como por ejemplo la luz o los colores de fondo (preferiblemente más oscuros que el objeto). Todo esto junto, con un algoritmo de procesamiento adecuado, según los elementos que se están utilizando, permiten mejorar de una manera sustancial los resultados obtenidos, minimizando tiempos en operación y garantizando una mejor eficacia a la hora de determinar las características principales de los objetos [5].

En general existen muchas aplicaciones a los sistemas de control de calidad basados en productos terminados teniendo en cuenta esos principios, como por ejemplo en corchos, donde se tiene que determinar la calidad sobre la capa superior e inferior. Estos aspectos se encuentran relacionados con la textura, por lo que se realiza el procesamiento basado en esta característica, el control se realiza por medio de lógica difusa y usando una base de imágenes previamente tomadas con ciertas características determinantes, esto da como resultado una mayor eficiencia comparado con el control de calidad

manual [6]. Utilizando esta técnica de color también se encuentran trabajos aplicados a la detección de partes en las piezas, como por ejemplo el corcho en las botellas de aceite de oliva, el sistema, al igual que el anterior, usa un sistema de iluminación controlado y, por medio de la descomposición del color, puede identificar rápidamente si se encuentra o no el corcho que cierra la botella, además de poder verificar la cantidad de botellas en la producción [7]. En otros casos se aprovechan otras características de los elementos a los que se les debe realizar control de calidad, como es el caso del forraje, donde toda la inspección del elemento se hace por medio manual, para este caso se tienen características como el color, el ancho y la relación hoja tallo, a partir de estas tres características se determina el valor del producto empacado. El sistema de adquisición consta de una cámara, un sistema de iluminación controlado y el computador, que realiza el procesamiento por medio de una comparación con un parámetro ya caracterizado previamente, como la media de los datos de una serie de muestras determinada, todo esto basándose en el histograma de las imágenes adquiridas. El sistema es útil en ambientes industriales y permite tener mayor control sobre la venta de este tipo de material orgánico [8].

Otro campo donde actualmente se utiliza este tipo de control de calidad es en la electrónica a pequeña escala, donde el ojo del ser humano no alcanza a percibir ciertos detalles que son importantes para el correcto funcionamiento del mismo. Este tipo de aplicación presenta ciertas dificultades por la cantidad de componentes que se tienen y los cables o dispositivos de mayor tamaño que generan sombra, Para determinar si se encuentran los elementos se utiliza la característica de intensidad, donde por medio de los píxeles se determina si falta o no un elemento electrónico o tornillo, todo esto realizando una comparación con una placa base completa. Esto trae como resultados un sistema que minimiza tiempos y cuyo costo de inversión no es alto en comparación con las pérdidas que podría generar no tener un adecuado control de calidad [9]. En otras aplicaciones la necesidad de tomar medidas precisas sobre ciertos elementos se hace necesaria, como es el caso de las cápsulas fulminantes, donde cada detalle cuenta para que tenga un adecuado funcionamiento, realizar el control de calidad por otros métodos diferentes a la visión computacional se hace prácticamente imposible, ya que los parámetros de calibración que podrían utilizarse no son confiables y pueden variar de molde en molde, son aproximadamente 10 errores que se deben verificar en este caso y cada uno tiene su propia probabilidad de aparición. Es por esto que se utilizan técnicas de aprendizaje de máquina como lazy learning (Algoritmo K-NN), enfoque estadísticos (clasificador de Bayes y redes Bayesianas) y árboles de decisión, donde 3 expertos en el tema establecieron las entradas y salidas, creando un sistema que permite obtener una correcta clasificación de cápsulas fulminantes, por medio de una combinación de los métodos anteriormente mencionados [10].

En conclusión, referente al control de calidad por medio de inspección de piezas, se han desarrollado muchas técnicas de inspección, utilizando imágenes binarias, nivel de gris, color y rango. Cada uno



con sus respectivas ventajas y desventajas en el procesamiento de información, se han usado diferentes esquemas de inspección, como por ejemplo la comparación de plantillas, los métodos basados en reglas o sistemas híbridos compuestos por la unión de las dos técnicas mencionadas anteriormente, todo esto teniendo en cuenta patrones anteriormente configurados por modelos CAD o ciertas tolerancias y características importantes [11].

## Control de calidad inspeccionando herramienta

Anteriormente se mencionó la segunda forma que se utiliza para realizar control de calidad del producto terminado, se trata de verificar el correcto funcionamiento de la herramienta en el proceso de mecanizado, esto se debe a que uno de los errores más frecuentes es el incorrecto montaje de la herramienta, ya que genera pérdidas en la mayoría de empresas, no solo por el costo de la misma, sino porque está directamente relacionada con la calidad de las piezas que se están mecanizando, debido a que los parámetros de configuración de la herramienta están directamente relacionados con el tipo de mecanizado que se está realizando y el material que se está utilizando. Para dar solución a este problema se han desarrollado diferentes técnicas como las que se explican a continuación, algunas relacionadas con principios de voltaje, corriente y visión por computador. En algunos casos se ha establecido una metodología de 4 pasos: la primera consta de crear un base de datos con las condiciones que se esperaría cumpla en el proceso de mecanizado, esto a partir de experiencia a priori sobre los diferentes recorridos y esfuerzos de torsión que deben tener los ejes X y Y, esta etapa se realiza antes del inicio del funcionamiento. La segunda etapa es el monitoreo de la operación, donde se adquieren los valores actuales de los sensores durante el mecanizado y, por último, las etapas de evaluación de la situación y ejecución de la acción. Todo esto realizando el adecuado procesamiento de señales [12].

Otros trabajos mejoran la metodología anterior, adquiriendo una base de datos que tienen en cuenta la covarianza entre los datos adquiridos, Además agregan sensores para determinar las fallas o el mal funcionamiento de manera indirecta, como son: acelerómetros para determinar las vibraciones en los ejes, de corriente para identificar la velocidad y un micrófono para poder identificar ruidos bruscos. Todo esto conlleva a tener diferentes tipos de calibraciones que deben ser muy precisas y un acondicionamiento de señal con filtros que permitan tener mayor nitidez en las señales adquiridas [13]. Este tipo de sistemas no solamente se pueden implementar en fresadoras, sino que también en tornos CNC donde, de la misma forma como se ha mencionado anteriormente, se toman las señales de consumo de los ejes para determinar el comportamiento de la herramienta [14]. Este tipo de metodología tiene una gran precisión y exactitud a la hora de detectar problemas con la herramienta, como por ejemplo la ruptura, ya que toma las mediciones de una manera directa e indirecta sobre los ejes del sistema que se están utilizando. Sin embargo, debido a que se debe tener una buena base de datos, se necesita de mucho trabajo a priori para poder comparar correctamente según el tipo de material, el avance, la

dirección y algunas características específicas de la herramienta. Otra desventaja es que no funciona para máquinas fresadoras de tamaño pequeño, o donde la variación de los sensores no es lo suficientemente grande para poder diferenciar los eventos. Esto teniendo en cuenta que la resolución de los sensores debe permitir identificar los más mínimos movimientos que tiene la máquina y, además cuenta con un error ya determinado por el tipo de sensores que se utiliza, lo que no hace que sea seguro.

Para hacer más robusto los sistemas mencionados anteriormente, se complementó, considerando los esfuerzos mecánicos y haciendo una realimentación de la fuerza de corte de los tres ejes (X, Y y Z), y de esta forma determinar automáticamente si debe subir o bajar la velocidad del splinder, lo que minimiza notoriamente la posibilidad de estar sobre esforzando la herramienta y mejora la calidad del trabajo final. Para determinar si la herramienta está rota, al igual que los trabajos anteriores, se verifican los sensores de los ejes y el sensor de vibración aplicando dos filtros para eliminar los posibles cambios en la corriente que no se deben considerar y aumentar la respuesta a cambios bruscos de la misma [15]. Además de predecir la ruptura de la herramienta también se puede determinar, teniendo en cuenta un control adaptativo, el desgaste de la herramienta al mecanizar ciertas piezas, para esto se debe tener una buena caracterización de la herramienta y su comportamiento frente a distintos materiales, pero al igual que los anteriores métodos se limita a ciertas condiciones específicas entre el material y la herramienta, lo que lo hace poco flexible y muy restringido [16]. Además del control adaptativo, se han desarrollado otro tipo de controles óptimos que tienen en cuenta distintas características de la máquina para tomar decisiones sobre la velocidad y los parámetros de avance de la máquina, permitiendo realizar un sistema más completo que no solamente detecta sino que además previene [17].

Otras técnicas como las redes neuronales artificiales también se han empleado para determinar el desgaste de la herramienta y su ruptura, sus entradas son las salidas de los sensores de corriente, junto con algunos parámetros estáticos como el tipo de material y otros parámetro dinámicos como la velocidad de corte, el avance, el paso y el diámetro de la herramienta. El sistema toma en cuenta todas las características que se encuentran relacionadas con el proceso de mecanizado, la dificultad se encuentra en la red neuronal, cuya función es dar un aviso al usuario de posible falla, ya que depende directamente de la cantidad de neuronas y ejemplos de entrenamiento, aunque produce buenos resultados si se logra entrenar adecuadamente la red [18][19]. Diferentes variaciones de la técnica anterior se han visto aplicando redes bayesianas, donde se tienen en cuenta los acelerómetros, dinamómetros y sensores de corte, partiendo de dos etapas una fuera de línea y otra en línea. La primera consiste en la adquisición de los datos y aplicar el modelo de aprendizaje, la segunda corresponde a la clasificación de los datos adquiridos en el momento junto con los resultados obtenidos en el modelo de aprendizaje para determinar un pronóstico de la herramienta [20].

En algunas aplicaciones específicas, donde no se pueden instalar sensores debido a que el ambiente no lo permite, se debe buscar otro tipo de solución para la supervisión de la herramienta, se usa la visión por computador como una alternativa en la adquisición de los datos y, a través de diferentes filtros para hallar bordes, se logra identificar y localizar la herramienta [21]. Al igual que en los casos anteriores, a partir de las imágenes adquiridas con las cámaras se pueden aplicar métodos bayesianos o redes neurales, con el fin de realizar un clasificador, se toman las imágenes que tienen ciertas características y se comparan contra un patrón ya establecido y de esta manera se puede determinar si es correcto o no el montaje [22]. Este problema ha sido abordado en investigaciones anteriores por algunos autores usando imágenes en dos dimensiones.

## Definición del problema

Con el avance de los procesos de mecanizado surgen nuevas tecnologías que permiten mejorar el control de calidad en las piezas terminadas, como se mencionó en las secciones anteriores existen dos maneras de realizar este control de calidad, la primera por medio de la verificación de las características de la pieza terminada y la segunda verificando el comportamiento en la herramienta durante el proceso de mecanizado. El enfoque de este trabajo está dado hacia la segunda opción.

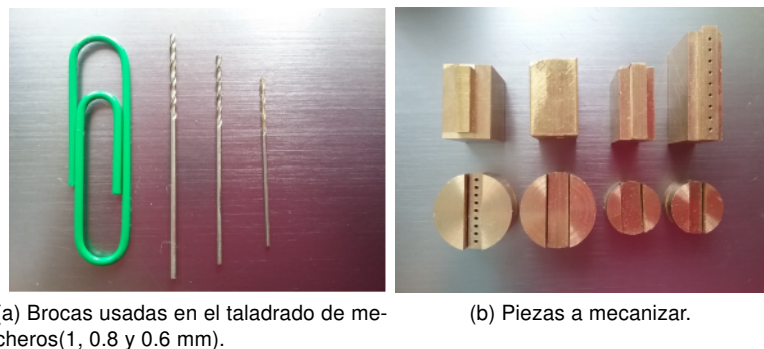


Figura 1: Brocas y Piezas para el taladrado.

El objetivo es verificar constantemente el estado actual de la broca en el taladrado de piezas de bronce y realizar la inspección de la herramienta, su dificultad se debe al diámetro de la broca que, en algunos casos, es de 0.6, 0.8 y 1 mm, como se observa en la Figura 1a. La instalación se realiza en una máquina CNC con recorridos en sus ejes de 30 cm en el eje x y y, y de 15 cm en el eje z. Su aplicación es principalmente el taladrado de mecheros, de diferentes tamaños, principalmente rectangulares y circulares, como se observa en la Figura 1b.

Debido a las condiciones mencionadas anteriormente, si se decidiera realizar un sistema de inspección por medio de sensores como acelerómetros, sensores de corriente, voltaje y demás instrumentos de medición, que pudieran llegar a utilizarse en la inspección de la herramienta, no funcionaría ade-

cuadamente, debido a que este sistema en particular trabaja con esfuerzos de corte pequeños, que no producirían mayor cambio en este tipo de sensores, lo que produciría un sistema inestable y poco preciso. Es por esto que se decide trabajar empleando técnicas de visión de máquina, que es independiente al tipo de material que se trabaja y a la herramienta que se está utilizando, lo que genera un sistema más flexible a posibles cambios en el mecanizado. Sin embargo, también presenta una dificultad al tener objetos pequeños que enfocar, que es uno de los problemas a los que se busca dar solución en este trabajo de grado.

Teniendo en cuenta las necesidades precisas para el tipo de taladrado de estas piezas, se buscan solucionar algunos de los problemas más frecuentes que se encuentran al momento de instalar la herramienta en el mandril, como son: el perpendicularismo de la broca con la pieza que se va a trabajar, la vibración de la herramienta debido a un mal ajuste en el mandril, el diámetro y la longitud de la broca para tomarlo como condición inicial de trabajo y verificar el cero de pieza, esto de manera previa al taladrado y durante el mismo, realizando un seguimiento en tiempo real del proceso.

Este documento está dividido en 4 capítulos principales, el primero, explica la fundamentación teórica utilizada para el desarrollo de este trabajo, el segundo, desarrolla los objetivos propuestos, el tercero muestra la evaluación del sistema, y por último, se presentan las conclusiones junto con los Anexos.

# Capítulo 1

## Fundamentación Teórica

---

En este capítulo se explican, los conceptos utilizados para el desarrollo de este trabajo, empezando por los fundamentos mecánicos para conocer el problema y luego algunos conceptos de procesamiento de imágenes, con los que se dió solución, a los problemas planteados.

### 1.1. Taladrado de piezas

El taladrado de piezas es un mecanizado por arranque de viruta, que consiste en la perforación de diferentes tipos de materiales para crear huecos de ciertas profundidades y diámetros. Tiene dos movimientos principales, el primero es el del giro de la herramienta, y el segundo, es el avance del movimiento que se da sobre el eje de la herramienta.

Para obtener un acabado y mecanizado correcto, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Velocidad de corte.
- Velocidad de avance.
- Avance por filo.
- Espesor de corte
- Anchura de viruta.
- Sección de viruta.
- Fuerza de corte.

- Potencia de corte.

Estas características dependen principalmente del ángulo de corte, material a mecanizar, tipo de broca y material de la broca. Es importante realizar los cálculos pertinentes y, de esta forma, evitar posibles daños en la pieza o herramienta [23].

Otras características que también afectan el taladrado de la pieza, y que son en las que se enfoca este trabajo, se deben a la instalación de la broca en el mandril, debido a que una mala instalación de la herramienta termina por generar fallas, las cuales se explican a continuación.

#### 1.1.1. Fallas en el mecanizado.

En el taladrado de piezas existen diferentes fallas producidas por un mal cálculo de las velocidades de corte, avance o ubicación de la herramienta. En esta sección se explica, de una manera general, tres fallas principales y una que no necesariamente es una falla en el mecanizado de las piezas, pero produce un error en el mecanizado final.

### Desgaste, astillamiento y ruptura

- **Desgaste:** Principalmente existen dos tipos de desgaste. El primero, desgaste por incidencia en el filo principal, que indica que la velocidad de corte es demasiado alta, el avance demasiado bajo, el refrigerante es insuficiente o la calidad del material de corte muy blanda. El segundo tipo de desgaste, es por incidencia en el filo transversal, y se debe principalmente, a que el avance es muy alto o la velocidad de corte muy baja. En ambos casos el correcto ajuste de la herramienta al mandril, genera desgaste por el rozamiento [24]. Un ejemplo de este desgaste se observa en la Figura 1.1.

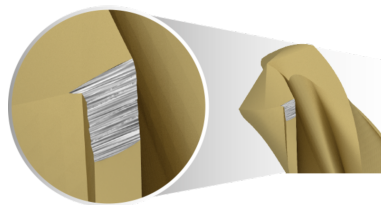


Figura 1.1: Desgaste en una Broca.  
Tomada de: <https://www.wnt.com>

- **Astillamiento:** En la Figura 1.2, se observa un astillamiento en la punta de la herramienta. Es muy habitual que se presente, se debe a que al hacer el taladrado de la pieza, se pierde estabilidad

por el tamaño y tolerancias del ángulo de la punta. Generalmente, se debe a mal ajuste de la herramienta, refrigerante insuficiente o a un desgaste máximo permitido [25].

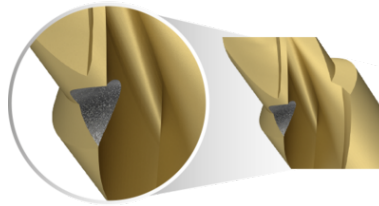


Figura 1.2: Astillamiento en una Broca.  
Tomada de: <https://www.wnt.com>

- **Ruptura:** En definitiva uno de los mayores problemas en el taladrado, es la ruptura de la herramienta, principalmente se debe a que la herramienta tiene un indicador de desviación muy grande (vibración), por condiciones inadecuadas de ajuste de la herramienta al mandril, atasco de viruta, baja potencia, avance muy alto o desgaste excesivo [26] [27], en la Figura 1.3 se puede ver un ejemplo.



Figura 1.3: Ruptura de una Broca.  
Tomada de: <http://www.sandvik.coromant.com>

## Cero de pieza

La última falla en el mecanizado, está relacionado con la ubicación de la herramienta antes del taladrado, ya que de esto depende que la perforación quede situada en la posición correcta, y se obtenga el mecanizado esperado. La ubicación de la broca con respecto a la pieza se hace fundamental en el trabajo automatizado CNC, ya que es el punto de partida de todo el sistema.

### 1.1.2. CNC

El control numérico computarizado, nace ante la necesidad de controlar a partir de una computadora, los movimientos de un sistema con motores paso a paso o servomotores, como por ejemplo fresadora, taladro, torno, prensa, electroerosión, rectificadora, entre otras. Tiene la ventaja de trabajar, como su nombre lo indica, con control numérico, permitiendo realizar mecanizados que incluyen tiempos largos de operación, o difíciles maniobras de mecanizado, además de solventar errores frecuentes

que se presentan en el trabajo manual, referentes a la exactitud y la precisión [28].

Generalmente este tipo de sistemas trabajan únicamente con 3 ejes de coordenadas ( $x$ ,  $y$  y  $z$ ), sin embargo para sistemas más complejos se llegan a utilizar hasta 5 o 6 grados de libertad, lo que permite mayor movimiento de la mesa de coordenadas y ampliar la gama de trabajos que se pueden realizar [29]. En la actualidad hay máquinas específicas, que tienen controles avanzados, para la manipulación de diferentes variables como son la posición, velocidad y temperatura. Sin embargo con las facilidades actuales para diseñar e implementar su propia máquina CNC, a partir de un sistema compuesto de motores y una computadora convencional, se puede crear un pequeño centro de mecanizado [30][31].

Un sistema CNC recibe instrucciones a partir de un modelo CAD (Diseño asistido por computador), que por medio de un software específico para esta aplicación, lo convierte en códigos  $G$  y  $M$ . Luego, el código es interpretado por un software, por ejemplo, Mach3® (ver Sección 1.1.2), el cual, genera unas trayectorias, calculando posiciones, velocidades y aceleraciones, para a partir de las interpolaciones realizadas, enviar una serie de señales electrónicas, a la tarjeta de control de los motores y así producir un movimiento en la máquina [32].

### **Mach3®**

Mach3® es un software que permite a partir de un computador convencional, controlar un sistema CNC. Funciona en el sistema operativo Windows® a 32 bits, y permite el control de motores paso a paso y servomotores. Es capaz de controlar 6 ejes independientes y permite importar archivos DXF, BMP, JPG y HPLGL, que manejen código  $G$ . Dentro de sus características más importantes, está el poder utilizarse para mecanizar en Tornos, Molinos, Routers, Láseres, Plasma, Grabadores y corte de engranajes.

Es una herramienta que por su costo y facilidad de programación, se utiliza en la industria, para automatizar pequeños y grandes procesos de mecanizado. Tiene una interfaz de usuario que permite una interacción fluida con el operario, y se comunica por medio de puerto paralelo.

## **1.2. Procesamiento de Imágenes**

### **1.2.1. Espacios de color**

El estudio del color a lo largo de la historia, ha despertado la curiosidad por ser un área de observación de académicos y no académicos, las diferentes corrientes del conocimiento, han abordado este



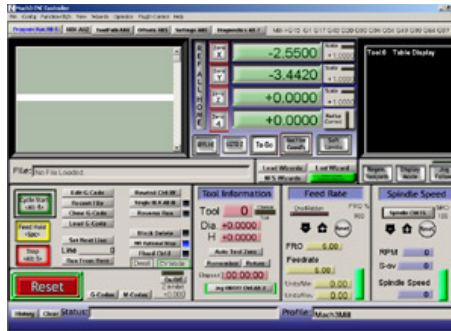


Figura 1.4: Mach3®

Tomada de: <http://www.machsupport.com/software/mach3/>

tema, con atributos científicos y no científicos [33]. Este último, como una percepción [34], en donde se hace énfasis en un círculo simétrico, sentando las bases de la psicología del color que conocemos en la actualidad, en esta teoría se destaca la percepción humana como el aspecto olvidado por las teorías newtonianas, de ahí surge un conjunto de reglas básicas, de la mezcla de diferentes colores para obtener un color deseado.

La interpretación del color, depende de una representación reproducible, llamada modelo o espacio de color. Esta representación matemática abstracta, describe la forma en que los colores se representan como tuplas de números, normalmente de tres o cuatro componentes. Generalmente todos los matices o colores que percibimos, poseen tres atributos básicos:

- **Matiz:** es el color en sí mismo, es el atributo que nos permite diferenciar a un color de otro (croma).
- **Brillo:** es la intensidad lumínica de un color (claridad / oscuridad), es decir, mayor o menor cercanía al blanco o al negro.
- **Saturación:** es la pureza de un color, la concentración de gris que contiene un color en un momento determinado.

Hay tres cantidades que definen la calidad en una fuente de luz cromática: Radiancia, Luminancia y Brillo, las cuales son importantes porque, determinan los colores que los seres humanos perciben [35] [36]. A continuación se explican los siguientes modelos de color RGB, YCbCr, CMYK, LAB y HSV.

## RGB

El modelo de color RGB, en un sigla en inglés que representa los colores rojo, verde y azul, y esto se debe a los tres tipos de conos sensitivos de color en el ojo humano, (65 % sensibles al rojo, 33 % sensibles al verde y 2 % sensibles al azul) [37]. Es un modelo de color basado en la síntesis aditiva, es decir, que es posible representar un color mediante la suma de estos tres colores primarios, y es por esto que es uno de los modelos más utilizados en la representación y visualización de las imágenes [38] [39].

Cada componente o canal de color puede variar de cero a un valor máximo definido. Si todos los componentes están en cero el resultado es negro; si todos están al máximo el resultado es el blanco, estos rangos pueden ser cuantificados de diferentes maneras:

- De [0 -1], con cualquier valor fraccionario intermedio.
- Cada valor de componente de color también se puede escribir como un porcentaje, de [0-100] %.
- En los ordenadores, los valores de los componentes suelen almacenarse como números enteros en el rango de [0-255] (uint8).
- Los equipos de imágenes digitales suelen ser capaces de ocuparse de rangos enteros más grandes para cada color primario, tales como 10, 16 bits o 24 bits.

Aunque este color tiene ventajas para poder ser visualizado, en el caso del procesamiento de imagen, no es conveniente utilizarlo por la correlación que existe entre sus componentes. Es por esto que existen más modelos de color para contrarrestar este efecto.

## YCbCr

Es un espacio de color utilizado principalmente en vídeo, tiene tres componentes principales, *Y* que corresponde a Luma, *Cb* que es la diferencia de crominancia en azul y *Cr* que es la diferencia de crominancia en rojo. Básicamente busca codificar la información que se encuentra en el espacio de color RGB.

Tiene ventajas con respecto al modelo RGB, ya que permite trabajar de manera independiente la luminancia y la crominancia de los colores rojos y azul.

## CMYK

El modelo CMYK (siglas de Cyan, Magenta, Yellow y Key) es un modelo de color sustractivo que se utiliza en impresión y se basa en la absorción de la luz. Se basa en que el color que presenta un objeto, corresponde a la parte de la luz que incide sobre éste y que no es absorbida por el objeto. Para convertir entre RGB y CMYK, se utiliza un valor CMY intermedio. Los valores de color se representan como un vector, pudiendo variar cada uno de ellos entre 0.0 (color inexistente) y 1.0 (color totalmente saturado) [40].

## LAB

Su objetivo es conseguir una percepción del color de una manera más lineal. Su sigla corresponde a  $L$  de luminosidad,  $a$  varía del rojo a verde y  $b$  es el gradiente del azul. Como ventajas principales tiene, que los canales  $a$  y  $b$  tienen independencia de la luminosidad, lo que permite que sea un sistema más robusto.

## HSV

El modelo HSV (Hue, Saturation, Value), es un subconjunto visible del espacio RGB, asociado a un espacio cilíndrico, cono o cono hexagonal. A continuación se explica más al detalle cada una de las componentes según [40].

- **Matiz:** se refiere a la frecuencia dominante del color dentro del espectro visible, por ejemplo, todos los rojos tienen un valor de matiz similar si son ligeros, oscuros, intensos o pastel. Rangos de 0-360 (pero normalizado a 0-100 % en algunas aplicaciones).
- **Saturación:** la saturación de un color identifica cuán puro o intenso es el color. Un color totalmente saturado es profundo y brillante a medida que la saturación disminuye, el color se vuelve más pálido hasta que finalmente se desvanece a neutral.
- **Valor:** es la intensidad de luz de un color. Dicho de otra manera, es la cantidad de blanco o de negro que posee un color.

Este espacio de color, tiene la ventaja de trabajar independientemente el matiz, la saturación y el valor de la intensidad del color. Para la aplicación de este trabajo, el color pasa a ser parte secundaria, y lo que realmente interesa es la saturación, ya que aprovechando esta condición y la iluminación externa, se puede resaltar los bordes de los componentes que se encuentran dentro de la imagen, para proceder con el procesamiento de la imagen.

### 1.2.2. Detección de bordes

La detección de bordes es utilizada, con frecuencia, para encontrar los objetos que se encuentran en una escena, existen diferentes formas para obtener los bordes de una imagen, una de ellas es identificando los cambios de intensidad en la imagen a partir de la derivada, existen diferentes técnicas basadas en el gradiente a partir de la primera derivada, como por ejemplo los operadores, Roberts, Prewitt o Sobel. Estos, aunque son eficientes, identifican únicamente el cambio de intensidad, mas no el sentido de este cambio, es por esto que se generan los operadores basados en la segunda derivada.

El filtro que se utiliza para este trabajo, es el filtro de Canny, el cual se basa en una serie de filtros en direcciones y resoluciones, que busca principalmente:

- Minimizar el número de bordes falsos.
- Una mejor localización de bordes en la imagen.
- Entregar una imagen con bordes de ancho de un píxel.

Este filtro se basa principalmente el gradiente, pero también utiliza para la localización de bordes la segunda derivada [41].

### 1.2.3. Detección de líneas y curvas

Partiendo de los bordes encontrados en la subsección anterior, se puede determinar si un píxel pertenece a un borde determinado, para de esta forma establecer líneas, círculos o formas asociadas a los elementos que se encuentran en la escena.

La Transformada de Hough permite encontrar formas paramétricas (líneas, círculos, elipses, etc...) a partir de los puntos presentes en una imagen. Por ejemplo, para una línea su función corresponde:

$$y = -\frac{\cos(\theta)}{\sin(\theta)} \cdot x + \frac{\rho}{\sin(\theta)}$$

que se puede reescribir de la forma:

$$\rho = x \cdot \cos(\theta) + y \cdot \sin(\theta)$$

donde  $\rho$  es la distancia entre la línea y el origen, y  $\theta$  es el ángulo del vector que pasa por el origen

de las coordenadas.

El Algoritmo 1 muestra la implementación de esta transformada para la detección de líneas [41].

---

**Algorithm 1:** Detector de líneas por transformada de Hough( $I(x,y)$ )

---

$\mathbf{Mr}(\theta, r) \rightarrow$  Matriz de acumuladores

$(x_c, y_c) \rightarrow$  Coordenadas del centro de  $I(x, y)$

$0 \rightarrow \mathbf{Mr}(\theta, r)$

**for** *Todas las coordenadas de la imagen  $I(x, y)$*  **do**

**if**  $I(x, y)$  *es un borde* **then**

$(x - x_c, y - y_c) \rightarrow (u, v)$  **for**  $\theta_i = 0 \dots \pi$  **do**

$r = u * \cos(\theta_i) + v * \sen(\theta_i);$

            se incrementa  $\mathbf{Mr}(\theta, r)$

**end**

**end**

**end**

Por último se encuentran los registros  $\mathbf{Mr}(\theta, r)$  cuyos valores sean máximos.

---

## Capítulo 2

# Desarrollo

---

Para lograr los objetivos planteados, se proponen tres etapas principales. La primera es la Sección 2.1, correspondiente al diseño mecánico, esta sección es fundamental para el procesamiento de la imagen, ya que a partir de la escogencia de la cámara, las distancias y el acondicionamiento lumínico, se procede a establecer los parámetros de los filtros y algoritmos que se utilizan en la segunda parte de este capítulo. En la Sección 2.2 se explican, al detalle, los algoritmos desarrollados para la detección de las fallas relacionadas en la herramienta, antes y durante el taladrado de las piezas, además de la sincronización con el software Mach3® y las alertas programadas. Por último, en la Sección 2.3, se explica el software que sirve como interfaz de usuario, para la implementación práctica del sistema.

### 2.1. Diseño mecánico

En esta sección se explica el mecanismo utilizado para realizar el soporte mecánico, teniendo en cuenta las especificaciones de la cámara utilizada, las vistas que se desean emplear para el procesamiento de imagen, y el sitio donde se va a instalar el mecanismo. A continuación se explica en detalle cada una de las etapas desarrolladas.

#### 2.1.1. Selección de cámara

El elemento fundamental para el desarrollo de esta aplicación, corresponde a la cámara, con la que se adquieren las imágenes para posteriormente realizar el procesamiento. El dispositivo que se escogió para la aplicación, corresponde a un Microscopio Digital USB UM012C de la marca Mustech, el cual se puede observar en la Figura 2.1.



Figura 2.1: Microscopio Digital USB  
Tomada de:<http://www.mustech.com/digital-microscope/>

Para la elección de este dispositivo se tomaron en cuenta diferentes características de diseño como son:

- Características físicas.
- Condiciones de luz.
- Resolución y especificaciones técnicas.
- Costo.

### **Características físicas**

Para esto se tomó en cuenta la máquina en la que se va a instalar el dispositivo mecánico, la cual se puede ver en la Figura 2.2. Esta máquina, es una pequeña Routeradora, con movimiento en los ejes  $x$ ,  $y$  y  $z$ , que para su movimiento se utilizan motores paso a paso y, en el caso del slider, un motor tool BOSH®. Sus recorridos son: en  $x$  30 cm, en  $y$  30 cm y en  $z$  15 cm. La función principal de esta máquina es el taladrado de piezas de bronce, con brocas de diámetros de 0.6, 0.8 y 1 mm.

Las medidas externas de la máquina son: de ancho 55 cm, de profundidad 60 cm y de alto: 70 cm. El espacio de trabajo de la herramienta, generalmente, para toda las piezas taladradas es: de ancho 30 mm, con una largo de 7 mm y una profundidad de perforación de 8 mm. La ubicación de la pieza se encuentra centrada con respecto al ancho de la máquina, en una prensa que mide: de ancho 6 cm, de profundidad 6.5 cm y de alto 2.5 cm. En la Figura 2.3, se puede observar las distancias que se tienen para la instalación de la cámara en el sistema.

En conclusión, el espacio en el que se puede instalar la cámara, corresponde a un cubo de dimensiones 20 x 10 x 12 cm, y las medidas de la cámara son, como se observa en la Figura 2.4a, de 11.5 cm de ancho, con un diámetro de 3.3 cm. Lo cual está dentro de los parámetros permitidos.

Además del espacio utilizado, otras características que se tuvieron en cuenta para la elección de la cámara son, el material de la recubierta de la cámara, el peso y la protección de los elementos externos,

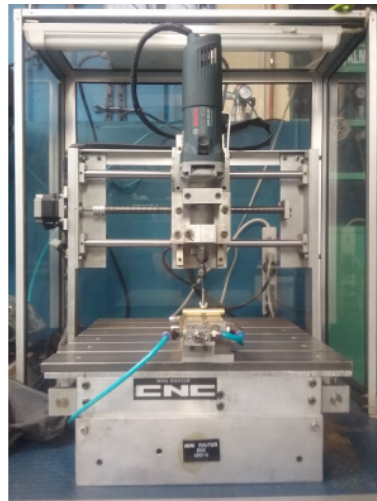


Figura 2.2: Máquina CNC.

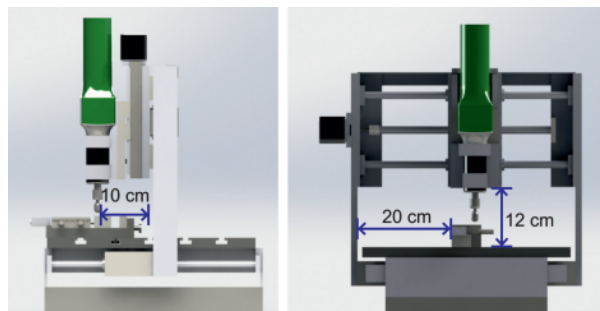
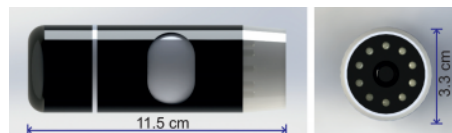
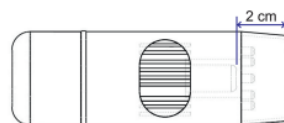


Figura 2.3: Espacio libre para ubicación del sistema en la Máquina CNC.



(a) Medidas de externas de la cámara.



(b) Distancia del sensor al final de la cámara.

Figura 2.4: Medidas y distancias de la cámara.

como por ejemplo, la viruta expulsada por el taladrado de las piezas. Esta cámara en particular, tiene una cubierta en plástico negro, pesa 90g y tiene una protección de 2 cm desde el sensor hasta la punta de la carcasa, como se muestra en Figura 2.4b.



## Condiciones de luz

El espacio de trabajo de la máquina CNC, corresponde a una bodega con tejas traslucidas, que permiten el ingreso de la luz exterior, esto hace que se trabaje con condiciones de luz variables, dependiendo del clima y otros factores meteorológicos. A pesar de tener iluminación interna con lámparas led, la luz suministrada por estos elementos no compensa la intensidad de luz externa y lo convierten en un sistema que trabaja en condiciones de luz no controladas.

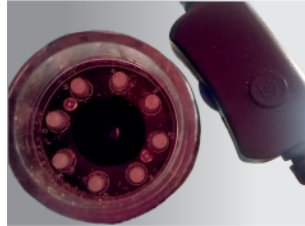


Figura 2.5: Leds y control de iluminación de la cámara.

Aunque, la corrección de iluminación se realizó en el procesamiento de imagen, la cámara cuenta con un sistema de iluminación independiente (ver Figura 2.5), compuesto por 8 leds y un control que modifica la intensidad de los mismos, facilitando la detección de bordes en la imagen.

## Resolución y especificaciones técnicas

Las fotografías que se adquieren con la cámara, tienen detalle de 0.6 mm, siendo este el tamaño de broca más pequeño para la aplicación. En la Tabla 2.1, se observa en detalle las especificaciones técnicas.

Lo conveniente de esta cámara es su alimentación directamente al PC y la conexión USB para la transmisión de datos, facilitando la instalación de la cámara hacia el computador que controla el sistema CNC. Otra de sus ventajas es el Foco manual y el zoom de hasta 300x, que permite compensar y manipular adecuadamente la información que se desea visualizar en la imagen.

## Costo

Por ser una aplicación para la industria metalmeccánica y específicamente para una microempresa, se tiene como prioridad el bajo costo de su implementación. En la Sección 3.3, se observa de una manera más específica, los beneficios económicos obtenidos por la implementación del sistema y los gastos ejecutados. Sin embargo, es de resaltar que esta cámara, es de bajo costo en el mercado y se puede conseguir fácilmente.

Tabla 2.1: Especificaciones técnicas de la cámara.

Especificaciones	
<b>Sensor</b>	5 M píxeles
<b>Resolución de captura imagen</b>	2592 x 944 2048 x 1536 1600 x 1200 1280 x 960
<b>Resolución de captura vídeo</b>	1280 x 960
<b>Rango de Foco</b>	Foco manual de 10 mm a 500 mm
<b>Frames por segundo</b>	30 fps @ VGA
<b>Relación de ampliación</b>	10x a 300x
<b>Fuente de luz</b>	8 LEDs (Brillo ajustable)
<b>Interfaz con el PC</b>	USB 2.0
<b>Fuente de alimentación</b>	5 v del puerto USB
<b>Sistema Operativo</b>	Windows XP/Vista/7/8, Mac 1.3 y above

### 2.1.2. Selección de vistas

Uno de los objetivos de este trabajo, corresponde a poder establecer el cero de pieza para iniciar el proceso de mecanizado. Para lograr este objetivo se hace importante, tener la vista de los tres ejes primarios de la pieza, el eje  $x$ ,  $y$  y  $z$  como se muestra en la Figura 2.6. Para esta aplicación se decidió trabajar con una sola cámara que por medio de un sistema mecánico, pudiera visualizar dos vistas específicas, en las que se observarían los tres ejes principales.

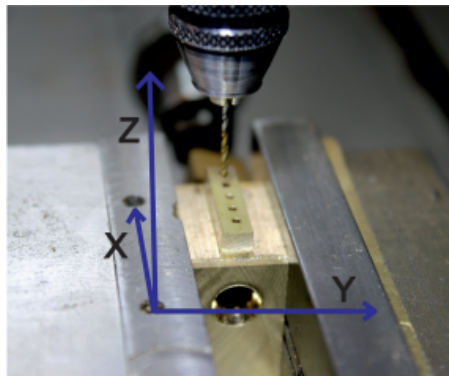


Figura 2.6: Coordenadas de los ejes primarios.

Como se observa en la Figura 2.7, la primera vista, es una vista lateral donde se puede verificar el eje  $y$  y  $z$ . Y la segunda vista, es una vista diagonal, a  $20^\circ$  con respecto a la punta de la broca, donde se verifica el eje  $x$ . Con estas dos vistas, se tiene la perspectiva, para poder determinar las distancias en cada uno de los ejes, simplificando el mecanismo para la adquisición de las imágenes.

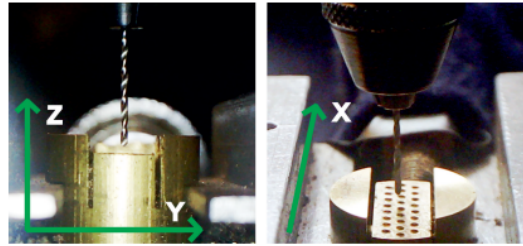


Figura 2.7: Vista lateral y diagonal.

### 2.1.3. Diseño del soporte

Una vez establecida la cámara y las vistas, se procede a realizar el diseño del soporte que va a permitir adquirir las imágenes adecuadamente. Dentro de los parámetros a tener en cuenta para el desarrollo, está que debe ser de fácil manejo, debe ser un sistema fijo y además debe estar dentro del límite de las dimensiones mencionadas en la Sección 2.1.1.

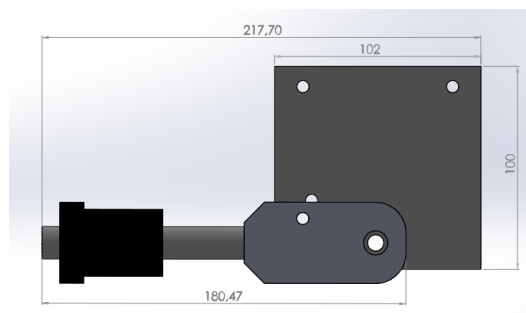


Figura 2.8: Medidas en mm del soporte.

En la Figura 2.8, se observa el soporte diseñado, junto con sus medidas principales (para más detalle ver Anexo 1. Planos Diseño Mecánico). Para el diseño del soporte, se utilizó parte del sistema con el que se adquirió la cámara, y se integró a una platina con un sistema de ajuste fijo, por medio de un tornillo, tuerca y resorte, el cual permite un movimiento guiado hacia las dos posiciones de la cámara, en la Figura 2.9, se puede observar al detalle el sistema completo.

Es importante resaltar, que la distancia de enfoque de la cámara, es fija con respecto a la broca, es decir, que la cámara se mueve conforme a la herramienta se mueve, esto evita posibles fallas en el enfoque de la broca y da robustez al sistema. Además, el centro de giro de la cámara corresponde a la punta de la herramienta, lo que permite enfocar el mismo centro, independiente de la ubicación de la cámara.

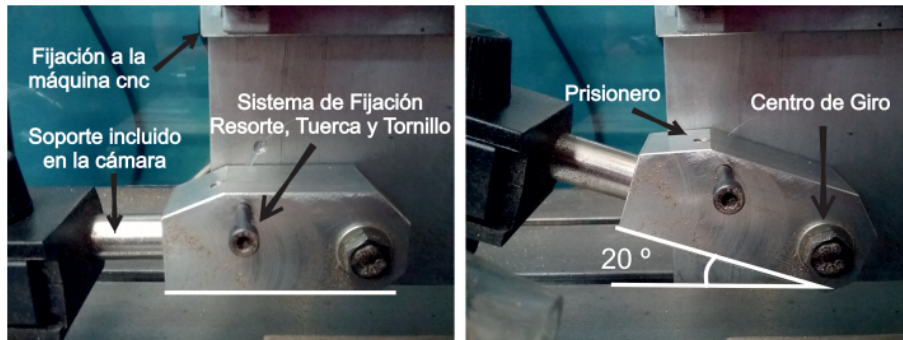


Figura 2.9: Detalles del Soporte.

Para el mecanizado del soporte, se utilizó herramientas de corte, como son, taladro y segueta, el material utilizado fue aluminio y cuenta con tres partes principalmente, una platina que permite el ajuste a la máquina, una pieza donde encaja el sistema de la cámara y permite el movimiento de la misma y, por último, el sistema que se adquirió con la cámara. Todas estas partes se ven en detalle en la Figura 2.10.

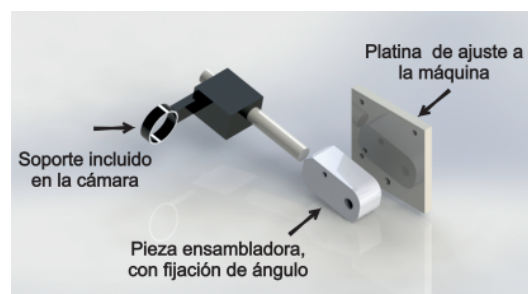


Figura 2.10: Ensamblaje sistema.

## 2.2. Sistema de visión de máquina

En esta sección, se explica el procesamiento y los algoritmos implementados para la detección de los elementos en la imagen. Se divide en dos subsecciones, la primera explica el desarrollo del segundo objetivo específico, correspondiente al procesamiento antes del mecanizado, y la segunda subsección corresponde al tercer objetivo específico, donde se realiza la sincronización del sistema con el software Mach3®, y se hace el procesamiento de imagen durante el taladrado de las piezas.

### 2.2.1. Procesamiento inicial

Esta etapa es fundamental para el correcto mecanizado de las piezas. Es la etapa inicial, antes de iniciar el mecanizado, en ésta se verifican las distancias en  $x$ ,  $y$  y  $z$ , además del movimiento de la herramienta asociado a la incorrecta instalación de la misma. Inicialmente se explican los tipos de

mecheros que se tienen y sus características principales, luego se muestra la metodología empleada para encontrar el cero de pieza, y por último, otras medidas asociadas a la herramienta.

## Tipos de piezas

La inspección de la herramienta se realiza para 10 mecheros específicos. Seis rectangulares y cuatro circulares. En la Figura 2.11 se muestran sus principales características, incluyendo tamaño, forma y cantidad de perforaciones.

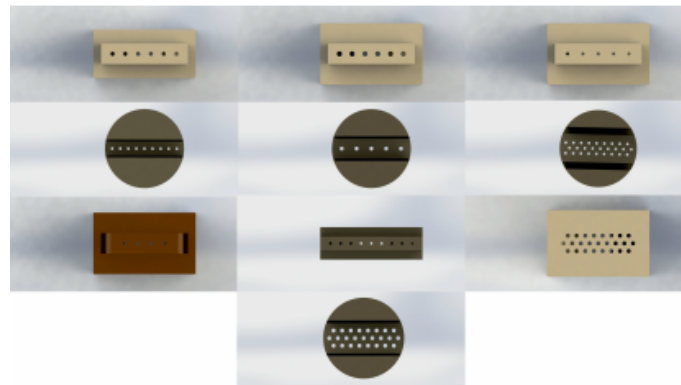


Figura 2.11: Mecheros.

Aunque, no todas la piezas tiene la misma altura, se tiene unos accesorios para la máquina CNC, que permiten que la superficie de perforación, quede aproximadamente en la misma ubicación para todos las piezas. Es importante saber al inicio, con que pieza se va a trabajar, ya que de esto depende los parámetros del algoritmo que se muestra en la siguiente sección.

## Cero de pieza

Dependiendo la vista con la que se esté trabajando, se tiene un algoritmo ligeramente diferente para la identificación de los elementos que se encuentran en la imagen. En la Figura 2.12 se observa la metodología utilizada para cada vista, donde, lo primero que se debe realizar es la selección de pieza, esto con el fin de saber, las medidas físicas de la pieza y tener un sistema de referencia para poder comparar los resultados.

Lo segundo es identificar la vista con la que se quiere trabajar, se debe realizar primero la vista frontal y luego la diagonal, debido a que el cálculo de las medidas en diagonal parten de una calibración previa realizada en el eje z. Al seleccionar la vista a trabajar, el usuario debe ajustar el sistema mecá-

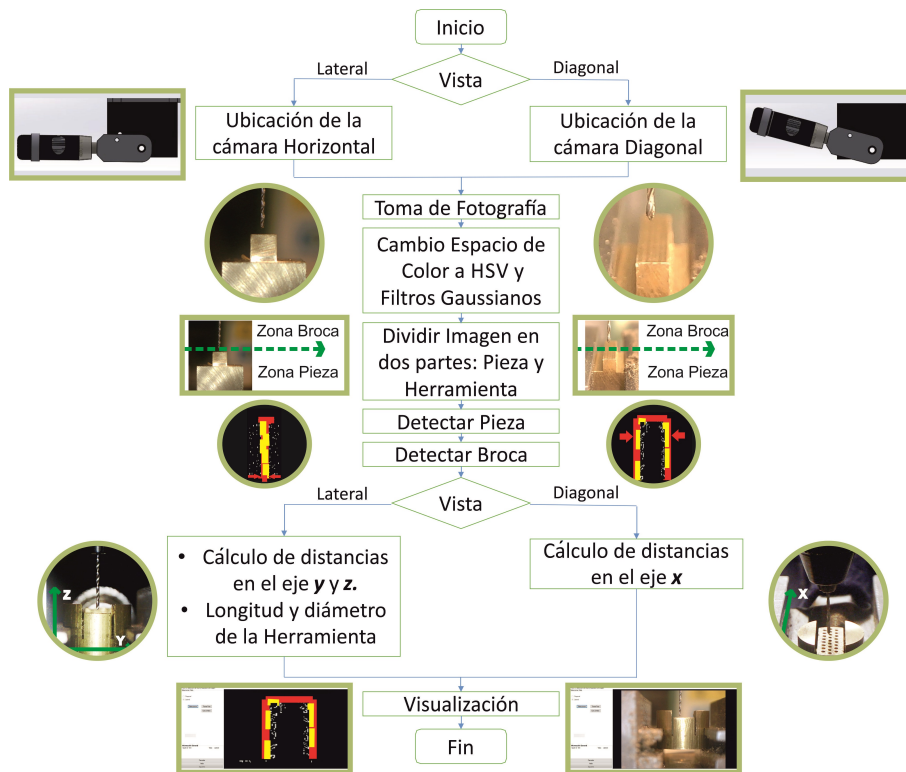


Figura 2.12: Metodología para detectar cero de pieza.

nico según la decisión tomada y tomar la fotografía, internamente para hacer el sistema robusto a los cambios de iluminación, se cambia la imagen al espacio de color HSV y se trabaja con la componente S para el posterior procesamiento.

Como se mencionó al inicio de este capítulo, el sistema es un sistema fijo con distancias estáticas, por lo que la cámara está ubicada en posiciones conocidas respecto a la pieza. Se divide la fotografía tomada en dos partes, como se observa en la Figura 2.13, la primera es la parte inferior de la imagen donde se encuentra la pieza y la segunda es la parte superior donde se encuentra la broca. Se trabajan como imágenes independientes, detectando la pieza y posteriormente la herramienta.

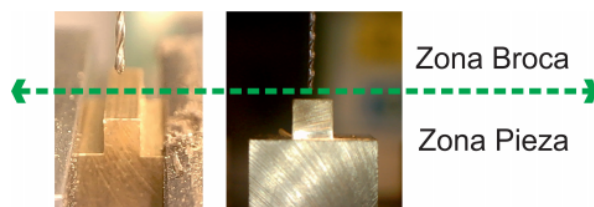


Figura 2.13: Zonas de la fotografía en vista diagonal y lateral.

El procesamiento de la imagen tiene que ser rápido y online, por lo que se trabaja con dos algorit-

mos que tienen bajo consumo computacional. El primero es el algoritmo de Canny para la detección de bordes, y el segundo es la transformada de Hough para detectar líneas, estos algoritmos son de fácil implementación, pero requieren de parámetros exactos para la adecuada detección de bordes. Además de estos dos algoritmos, se aplica un filtro Gaussiano para eliminar el posible ruido fuera del área de interés.

Según lo visto en la Sección 2.2.1, hay tres formas básicas de mecheros, dependiendo de la forma, las líneas que se identifican en cada uno de ellos son distintas, como se puede observar en la Figura 2.14. Una vez encontradas estas distancias, se crea una nueva zona de búsqueda de la herramienta y se procede a encontrar las líneas que permiten la detección de la broca.

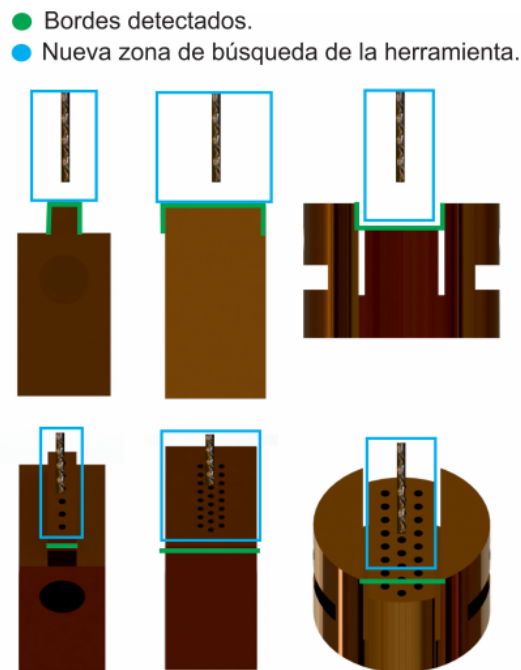
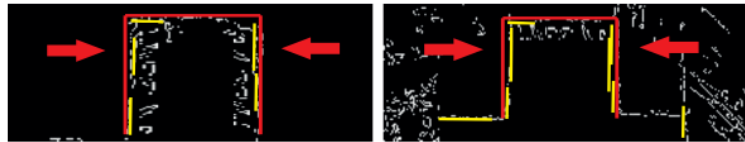
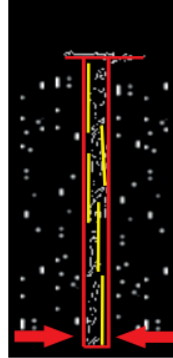


Figura 2.14: Bordes a detectar en vista diagonal y lateral, junto con la nueva zona de búsqueda de la herramienta.

El resultado inicial muestra, para el caso de la pieza, distintas líneas producidas por el acabado del material, para determinar las correspondientes a los bordes se realiza un acercamiento a la pieza de derecha a izquierda y de izquierda a derecha, y así poder encontrar los bordes externos del mechero, como se observa en la Figura 2.15a. En el caso de la broca se debe hacer el mismo procedimiento anterior, además de eliminar las posibles líneas outliers, esto teniendo en cuenta la concentración de la información y estableciendo ciertos límites basados en la desviación estándar (ver Figura 2.15b).



(a) Vista lateral y diagonal de la pieza para búsqueda de bordes.



(b) Búsqueda de bordes en la herramienta.

Figura 2.15: Líneas detectadas en pieza y herramienta.

Mediante una relación directa entre las medidas reales y su representación en los píxeles, se puede establecer las distancias entre la broca y la pieza, encontrando si la vista es frontal, distancia en  $y$  y  $z$ , y si es diagonal, por medio de la Ecuación 2.1, se puede encontrar la distancia en  $x$ .

$$x_{real} = \cos(\alpha) * x_{píxeles}, \quad (2.1)$$

donde  $\alpha$  corresponde al ángulo complementario de inclinación, en este caso  $70^\circ$ , y  $x_{píxeles}$  a la cantidad de píxeles encontrados como distancia. Con esto se termina de calcular las distancias que establecen el cero de pieza.

### Características adicionales

Del procedimiento mencionado anteriormente, se verifica además la perpendicularidad de la broca con respecto a la superficie de la pieza, partiendo del diámetro de la broca a trabajar ( $d_r$ ) y la distancia encontrada con el software ( $d_c$ ), esto permite establecer, por medio de la Ecuación 2.2, el ángulo ( $\beta$ ) con respecto a la cara perpendicular de la pieza, lo que se traduce en la vibración de la herramienta. En la Figura 2.16 se muestran dos ejemplos de lo mencionado anteriormente.

$$\beta = \arctan\left(\frac{1}{d_r - d_c}\right), \quad (2.2)$$



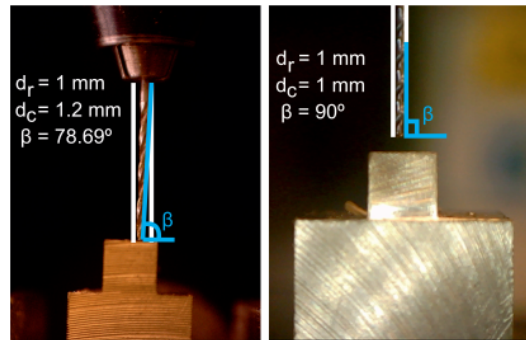


Figura 2.16: Vibración Herramienta.

En caso de que la herramienta se encuentre fuera de un rango permitido, para este caso por experimentación establecido en  $\pm 1^\circ$ , se genera una alarma para que el usuario verifique su instalación. Otra medida, también importante, es la longitud de la herramienta, primero para verificar que tenga el mínimo de largo necesario para la perforación, y segundo para el mecanizado online, explicado en la Sección 2.2.2, ya que a partir de esta distancia se puede saber si en algún momento del mecanizado se rompe la herramienta, lo que provocaría un paro inminente.

### 2.2.2. Mecanizado Online

Después de establecer los parámetros iniciales para el procesamiento y encontrar el cero de pieza, se procede a hacer el procesamiento online durante el mecanizado, para esto es importante primero realizar una sincronización con el programa Mach3® y establecer los tiempos en que se debe realizar el procesamiento de la imagen.

### Sincronización Mach3®

Mach3® cuenta con OEM DROs que permiten interactuar constantemente con el software en el que se esté programando, para la sincronización con el sistema, hay un momento específico en el que se puede comprobar el estado de la herramienta. Este es, cuando la herramienta se encuentra por fuera de la pieza. En la Figura 2.17 se muestra el movimiento de la herramienta durante el taladrado de la pieza y el momento en que la broca se ve completamente.

El momento en que la herramienta se encuentra completamente visible, se puede determinar por la posición en z, es decir cuando el valor de la distancia en z, sea -1. Partiendo de la Tabla 2.2, se puede verificar mediante el código 6 la posición en el eje z, al sincronizarlo con Mach3®.

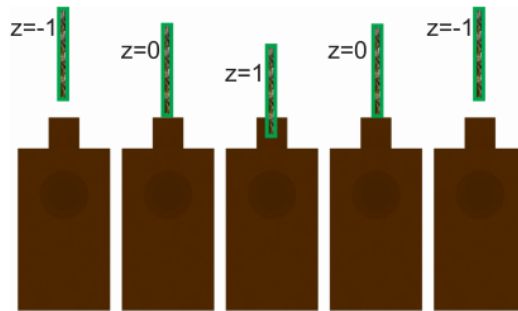


Figura 2.17: Movimiento de la herramienta.

Tabla 2.2: OEMCodes

Función	OEMCode
X min DRO	4
Y min DRO	5
Z min DRO	6

Otra parte importante para la sincronización con Mach3®, es poder interrumpir el programa en caso de ser necesario, como se explica en la Sección 2.2.2, en la Tabla 2.3 se observan los FCode para poder realizar estas funciones.

## Características del sistema

Una vez se establece el tiempo exacto para tomar la fotografía, se procede a implementar la metodología mostrada en la Figura 2.18. Esta metodología, es similar a la mostrada en la Figura 2.12, donde se encuentra el cero de pieza, sin embargo, el procesamiento Online se realiza únicamente en la vista lateral, se espera una señal de sincronización para tomar la fotografía y se procede a realizar el procesamiento de la imagen, primero cambiando el espacio de color y luego identificando la pieza y broca. Para este caso específico, se identifican el diámetro de la herramienta (que es directamente proporcional a la vibración de la herramienta) y la longitud de la broca (para determinar ruptura).

Tabla 2.3: FCodes.

Standard Buttons Function	FCode
Cycle start	1000
Pause	1001
Rewind	1002
Stop	1003

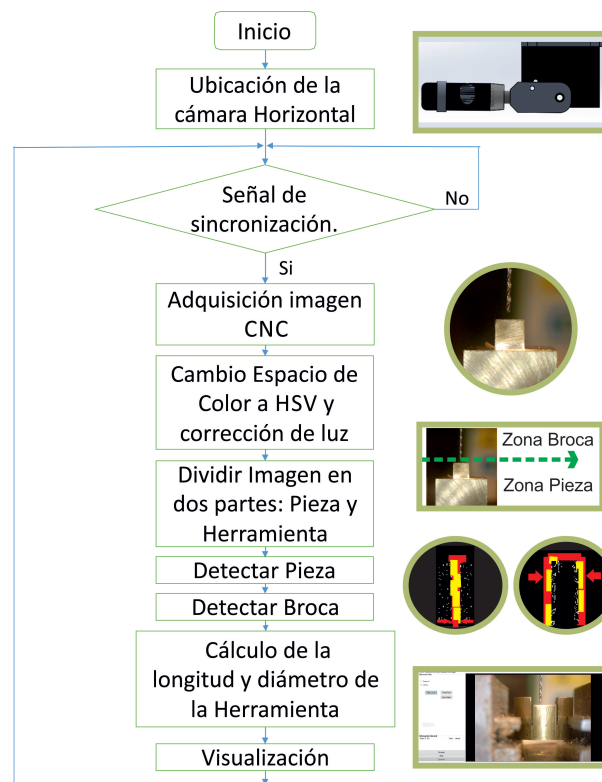


Figura 2.18: Metodología procesamiento Online.

## Alertas programadas

Hay dos tipos de alertas programadas, las primeras son de advertencia y las segundas generan una interrupción definitiva en el mecanizado.

- **Alertas de advertencia:** Corresponden aquellas que no representan un daño definitivo en el taladrado de las piezas, pero que pueden afectar el resultado, por ejemplo, vibración dentro del rango permitido.
- **Alertas de parada:** Representan un daño definitivo en el taladrado y es necesario interrumpir el proceso, por ejemplo, ruptura de la herramienta ó vibración fuera del rango permitido.

En la Figura 2.19 se muestra el diagrama de flujo para las alertas programadas.

## 2.3. Interfaz de usuario

El software corresponde al tercer objetivo específico. Se programó en C# para Windows 7 Ultimate® a 32 bits, en un equipo Intel(R)Celeron(R) CPU 2.80GHz y RAM 1.44GB. La escogencia del progra-

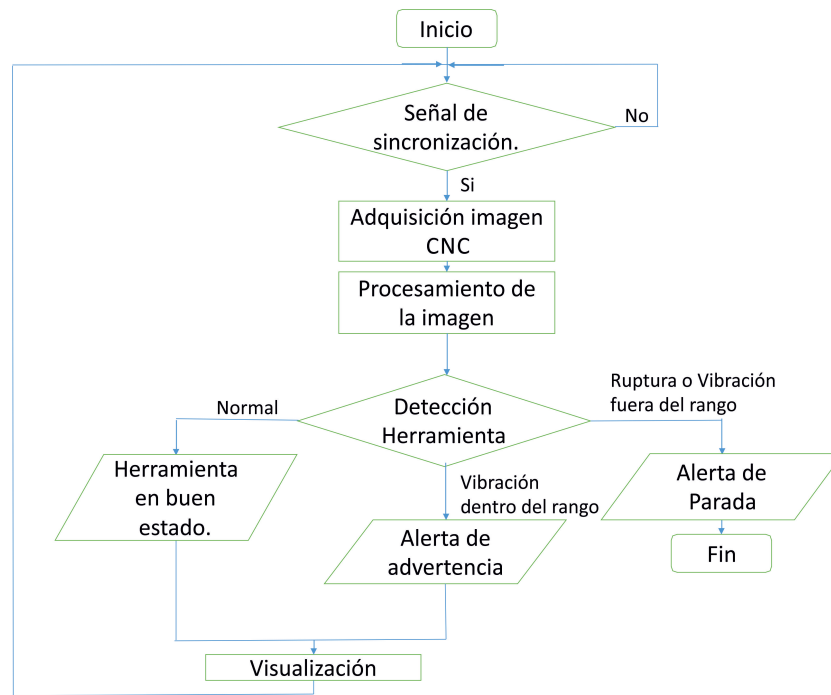


Figura 2.19: Diagrama de Flujo de las alertas programadas.

ma para la programación del software se debatió principalmente entre C# y Python, en la Tabla 2.4 se observan algunas de las características principales comparando estos dos software, según Pérez Castaño en [42].

Aunque ambos son de propósito general, son multiparadigma y soportan programación funcional, se decide trabajar con C# debido a que en el procesamiento Online, es prioritario el rendimiento del software y a la facilidad de sincronización con Mach3®. A continuación, se explica las tres secciones

Tabla 2.4: Comparación entre C# y Python

Criterio	CSharp	Python
Tipado	Estático, aunque incluye inferencia de tipos	Dinámico
División de Código	Llaves	Indentación
Usabilidad	Sigue un patrón clásico, usabilidad media	Lenguaje legible y usable
Fácil de aprender	Fácil	Genial para novatos, estudiantes
Diseñado para	Propósito general	Propósito general
Rendimiento	Se le atribuye un rendimiento ligeramente mejor	Rendimiento ligeramente menor
Multiparadigma	Orientado a objetos, Funcional, Estructurada	Orientado a objetos, Funcional, Estructurada

en que se encuentra dividido, la primera es la sección de bienvenida, la segunda corresponde a la calibración inicial y la tercera a la Inspección Online. Para información más detallada ver el Anexo 4. Manual de Operación.

### 2.3.1. Bienvenida

La pantalla inicial se muestra en la Figura 2.20, está compuesta por cinco partes distintas, a continuación se explica cada una de ellas.

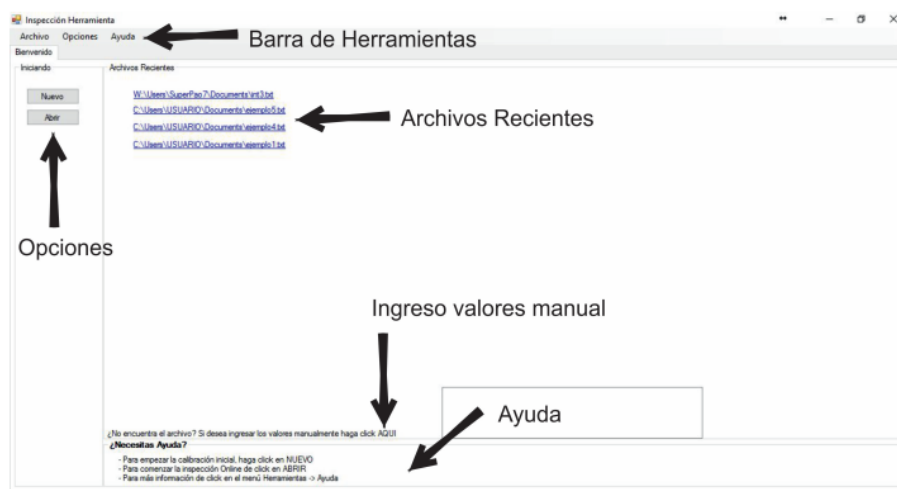


Figura 2.20: Pantalla de bienvenida.

- **Archivos recientes:** Es donde se encuentran los links de los archivos trabajados frecuentemente, estos archivos cuentan con un encabezado, para verificar que se trata de un archivo que pueda ser leído por el software.
- **Ayuda:** Esta ubicada en la parte inferior, y da un indicio al usuario, de como empezar a usar el software.
- **Opciones:** Se puede crear un archivo nuevo o abrir uno ya existente. Si se selecciona nuevo, se realiza el procedimiento completo, pero si se selecciona Abrir, se leen los datos guardados previamente, y empieza por la inspección online, esta última opción es útil cuando se tienen varias piezas del mismo lote y la calibración inicial es la misma.
- **Ingreso manual:** Es una herramienta que permite al usuario saltarse la calibración inicial, ingresando valores de la calibración manualmente.
- **Barra de herramientas:** Se encuentra en la parte superior del software y contiene los componentes Archivo, Opciones y Ayuda.

- **Archivo:** Muestra opciones como Nuevo, Abrir, Recientes, Guardar, Guardar como, y Salir.

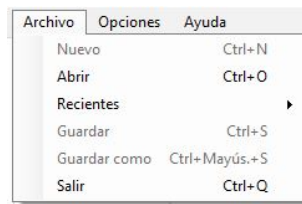


Figura 2.21: Menú Archivo.

- **Opciones:** Como se observa en la Figura 2.22, tiene una opción de configuración, verificación de instalación de Mach3® y verificación de conexión de cámara.

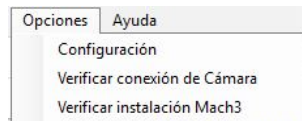


Figura 2.22: Menú Opciones.

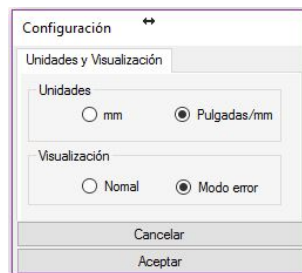


Figura 2.23: Menú Configuración.

En la Figura 2.23, se observa algunos parámetros que se pueden variar dependiendo lo que se desee, como el tipo de unidades y el tipo de visualización. En Visualización existe un modo error, para visualizar todo el proceso de procesamiento, y el modo normal, solamente para ver el resultado.

- **Ayuda:** Es el menú, donde se encuentra lo relacionado a preguntas frecuentes, el manual de operación y la información acerca del programa.

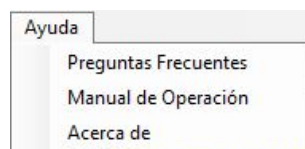


Figura 2.24: Menú Ayuda.

## 2.3.2. Calibración Inicial

Para entrar a esta sección del software es necesario empezar desde cero, es decir, seleccionar Nuevo. Se realiza el procedimiento mencionado en la Sección 2.2.1, y está guiado por la metodología mostrada en esa misma Sección.

Consta de tres Pasos, el primero es Seleccionar el mechero a trabajar, como se observa en la Figura 2.25. En esta ventana, se observan 3 secciones, la primera es una lista de los mecheros a taladrar, la segunda es una breve descripción del mechero seleccionado, como por ejemplo, medidas externas y diámetro de la broca con la que se debe taladrar. Estas medidas pueden estar en mm o en mm y pulgadas, según la configuración escogida. Por último, una sección donde se muestra un plano del mechero a taladrar, este consta de medidas más específicas y diferentes vistas de la pieza.

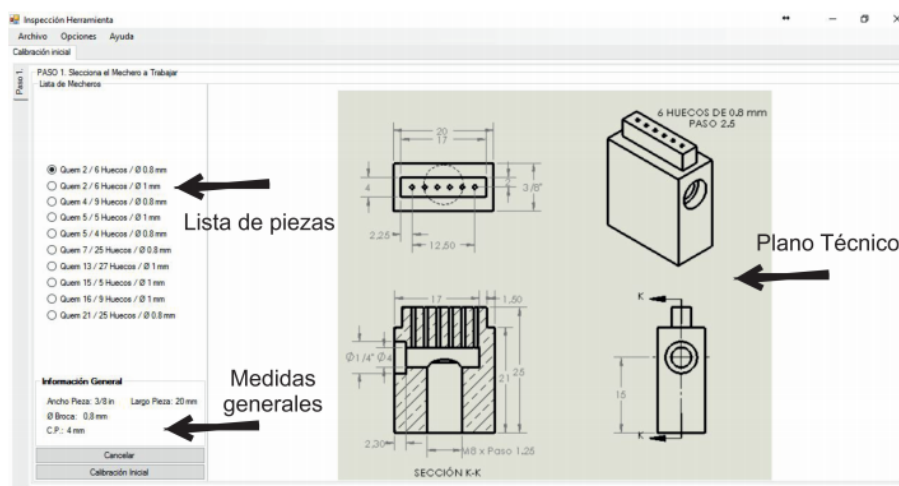


Figura 2.25: Paso 1. Seleccionar Pieza.

El segundo paso, es la selección de la vista, cuya ventana se ve en la Figura 2.26 para el caso de la vista lateral y la Figura 2.27 para el caso de la vista diagonal. Tiene una sección de visualización donde se puede ver la captura de la cámara, tiene otra sección donde se observa la información general del proceso, en este caso, se observa el mechero escogido y la vista seleccionada. Adicionalmente, cuenta con una sección para seleccionar la vista Diagonal o Lateral, y por último, una sección de Botones, cuya función se explica a continuación.

- **Seleccionar:** Una vez escogida la vista a trabajar, se da clic en seleccionar, esto activa la sección de visualización de la cámara, y los dos botones Tomar Foto y Cero Online.
- **Tomar Foto:** Consiste en tomar medidas de una foto estática, si se decide dar clic en el, una vez se toma la foto, se debe dar clic en el botón siguiente, en la parte inferior.

- **Cero Online:** Sí se desea realizar la calibración con vídeo, se da clic en este botón, una vez cliceado dirige a la tercera parte de la calibración.

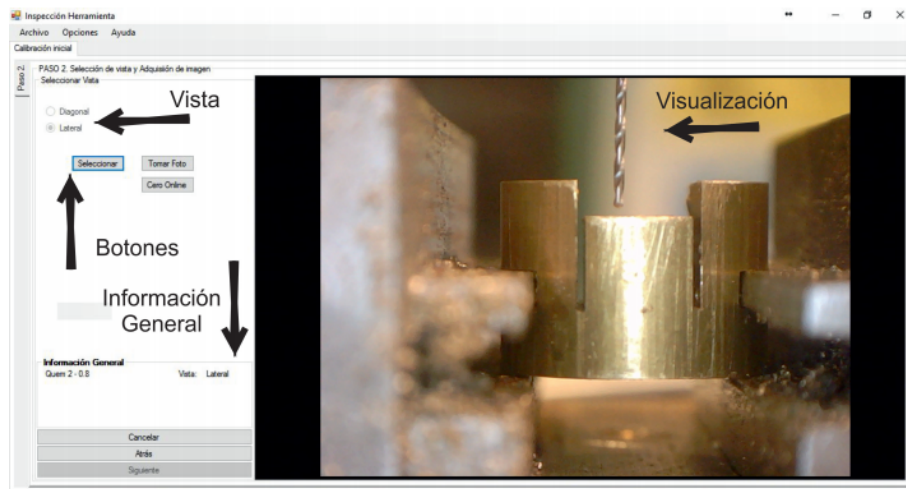


Figura 2.26: Paso 2. Seleccionar Vista, vista lateral.

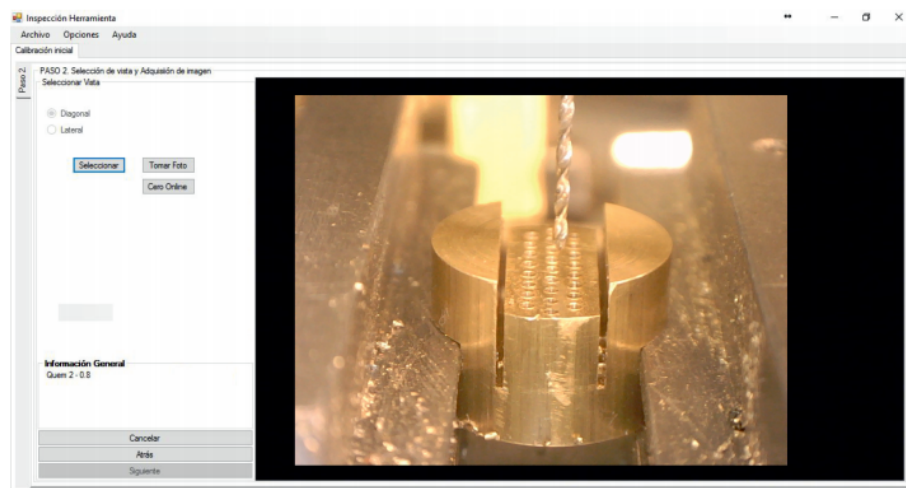


Figura 2.27: Paso 2. Seleccionar Vista, vista diagonal.

La última parte de la calibración, es el procesamiento de la imagen, como se puede ver en la Figura 2.28, que consta de 4 secciones, la primera es la información general, la segunda es la visualización, para este caso en modo error, la tercera es donde se visualizan las distancias, dependiendo de la vista en que nos encontremos, las distancias calculadas son distintas, y por último, una sección de botones, que tienen las funciones básicas de interacción con el software, más dos botones adicionales que se explican a continuación. En la Figura 2.29 y 2.30, se observa la vista diagonal y lateral respectivamente, con visualización en modo normal.

- **Cambiar Vista:** Dependiendo la vista en que nos encontremos, este botón va a cambiar de nom-



bre, y sirve para retornar al paso anterior y seleccionar la vista faltante. Es decir, si nos encontramos en la vista lateral, el botón se va llamar “Cambiar a vista Diagonal”, y si estamos en la vista diagonal, el botón va cambiar su nombre a “Cambiar a vista Lateral”.

- **Supervisión Online:** Es el botón que permite que accedamos a la inspección online, es importante recordar, que para iniciar la inspección online, el sistema debe estar en posición lateral.

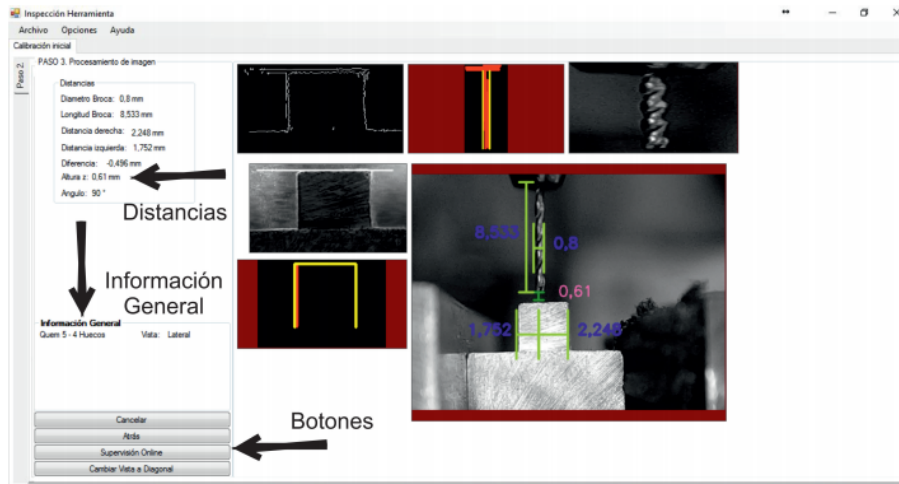


Figura 2.28: Paso 3. Procesamiento de Imagen, vista lateral, modo error.

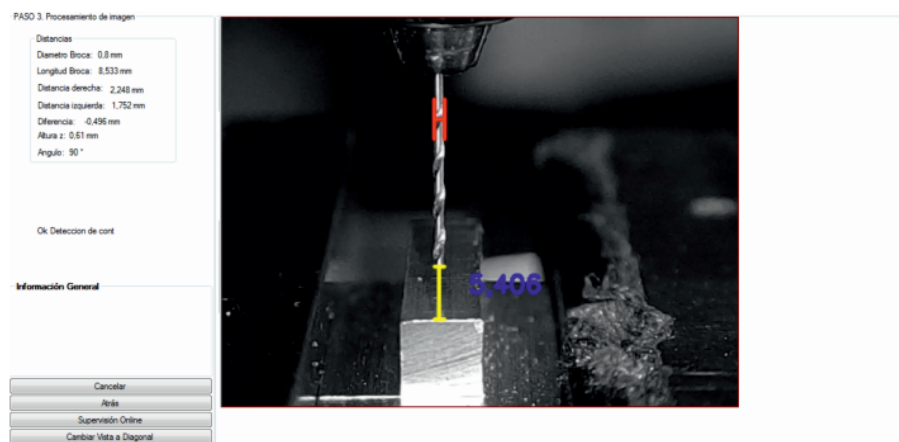


Figura 2.29: Paso 3. Procesamiento de Imagen, vista diagonal, modo normal.

Una vez terminada la calibración, se pueden guardar los resultados, para tenerlos presentes después. Dependiendo, de la vista seleccionada, se tiene una visualización diferente. En el Capítulo 3, se explica al detalle los resultados obtenidos.

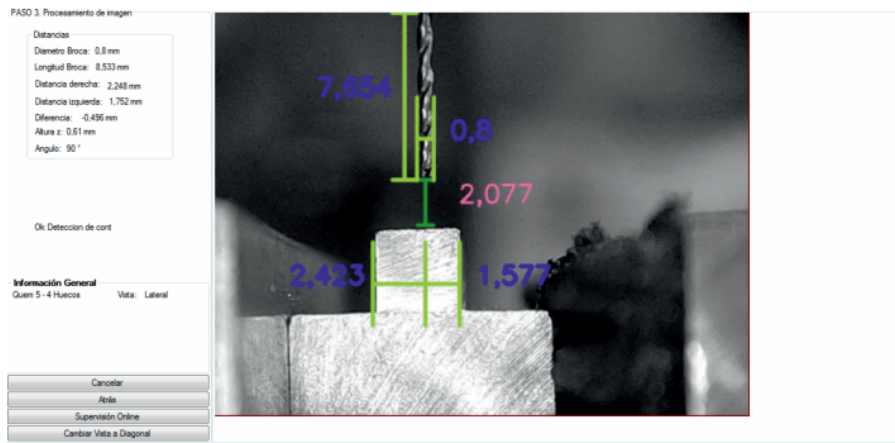


Figura 2.30: Paso 3. Procesamiento de Imagen, vista lateral, modo normal.

### 2.3.3. Inspección Online

Esta es la parte final del software, se puede entrar leyendo un archivo, ingresando los valores manualmente, o después de haber realizado la calibración inicial. Para esta parte, se realiza la sincronización con Mach3® y se generan las alertas que se encuentran programadas, en la Figura 2.31, se visualiza la ventana de inspección.

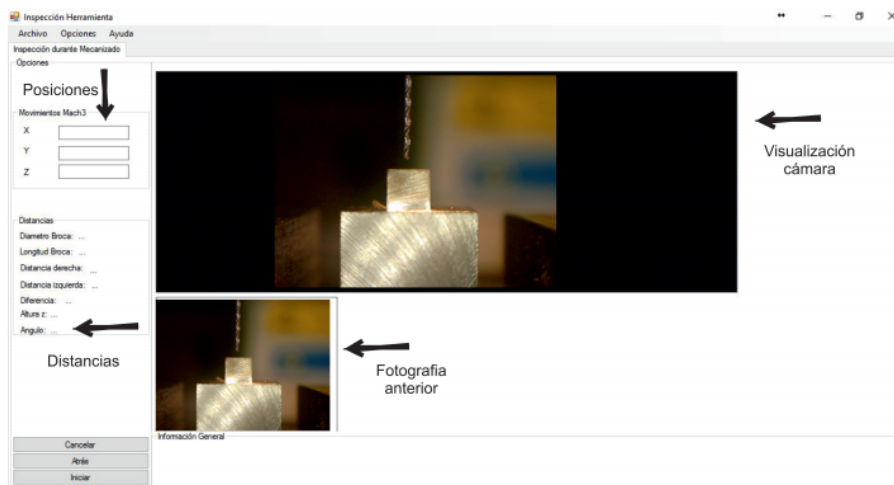


Figura 2.31: Ventana inspección de la herramienta.

Consta de 4 secciones, la primera muestra las medidas calculadas en cada fotografía, la segunda muestra las distancias recorridas en cada uno de los ejes x, y y z, la tercera corresponde a un vídeo con lo que está sucediendo en el mecanizado, y por último, una visualización de la fotografía tomada cuando el eje z, se encuentra en la posición adecuada. En el siguiente capítulo se muestran los resultados obtenidos.

## Capítulo 3

# Evaluación del sistema

---

En esta sección se explican los resultados obtenidos mediante el sistema propuesto, primero se realiza una comparación entre las medidas obtenidas mediante el software, y las medidas reales del sistema, encontrando el error y la dispersión de datos. La segunda parte, consta de la detección para cada mechero del correspondiente cero de pieza y del funcionamiento de las alertas programadas en el procesamiento Online. Por último, una subsección de costos y tiempos que permiten ver el impacto real del software sobre el mecanizado de estas piezas.

### 3.1. Dispersión de Datos, exactitud y resolución del sistema.

Es importante saber que tan confiable es el sistema con respecto a las medidas que se obtienen, es por esto que se realizan una serie de pruebas para poder determinar la exactitud y dispersión de datos del sistema, partiendo de las medidas calculadas previamente, como por ejemplo, distancia en el eje  $y$ ,  $x$  y  $z$ , diámetro de la herramienta y largo de la broca.

Primero, se revisa la exactitud del sistema con ayuda de un micrómetro, como el que se observa en la Figura 3.1, con respecto al sistema CNC que se encuentra calibrado previamente. El procedimiento consiste en mover el sistema cierta distancia y verificar, en el software, que la distancia detectada sea correspondiente al movimiento obtenido. En la Tabla 3.1, se muestra el resultado para 10 medidas distintas.

En estos resultados se visualiza un error en las distancias de 0.022 mm, lo que muestra que el



Figura 3.1: Sistema físico para la medición del error.

Tabla 3.1: Error en distancias.

Distancias en mm			
Experimento	Obtenida	Real	Error
1	1,05	1	0,05
2	1,41	1,4	0,01
3	1,56	1,5	0,06
4	1,7	1,7	0
5	1,8	1,8	0
6	2,01	2	0,01
7	2,21	2,2	0,01
8	2,27	2,3	0,03
9	2,37	2,4	0,03
10	2,48	2,5	0,02
<b>Promedio</b>			<b>0,022</b>

movimiento en el sistema CNC se replica en el sistema de inspección. Otro caso que se presenta en el software, es cuando se encuentra estático el sistema CNC y las medidas deben ser las mismas en todo el procesamiento, para evaluar la dispersión de datos y el error en este caso, se tomaron muestras del diámetro de la herramienta, largo de la herramienta y distancias en los ejes  $y$ ,  $z$  y  $x$ . A continuación se muestran los resultados para la longitud de la herramienta en la Tabla 3.2.

Largo de la Herramienta, L=7 mm			
Experimento	Obtenida	Error absoluto	Desviación
1	6,96154	0,03846	0,003846
2	7	0	0,042306
3	6,96154	0,03846	0,003846
4	7	0	0,042306
5	6,88462	0,11538	0,073074
6	6,96154	0,03846	0,003846
7	6,88462	0,11538	0,073074
8	7	0	0,042306
9	6,96154	0,03846	0,003846
10	6,96154	0,03846	0,003846
<b>Promedio</b>	<b>6,957694</b>	<b>0,042306</b>	<b>0,0292296</b>

Tabla 3.2: Medidas tomadas del Largo de la herramienta.

Donde la medida real es 7 mm, la columna *Obtenida* corresponde a los datos mostrados por el software en diferentes instantes de tiempo, el *Error absoluto* y la *desviación* se calcularon con las Ecuaciones 3.1 y 3.2 respectivamente,

$$Error_{absoluto} = | Medida_{real} - Medida_{Obtenida} |, \tag{3.1}$$

$$Desviación = | Promedio_{Obtenido} - Medida_{Obtenida} |, \tag{3.2}$$

Esta tabla se realizó para las restantes 5 medidas y los resultados se muestran en las Figuras 3.2 - 3.7.

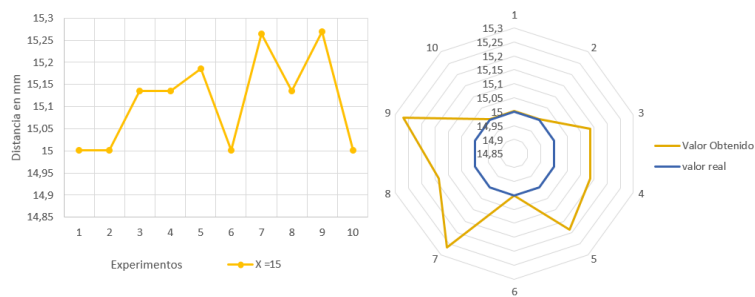


Figura 3.2: Muestras tomadas para la distancia x.

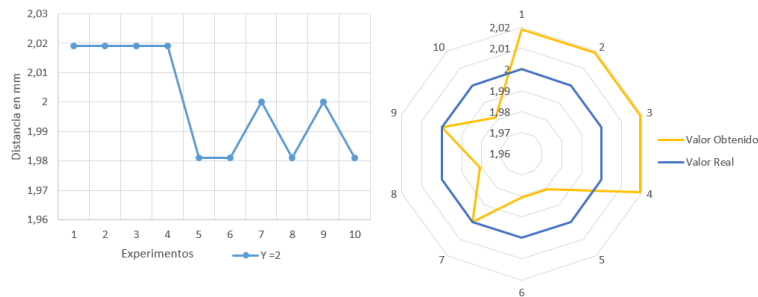


Figura 3.3: Muestras tomadas para la distancia y.

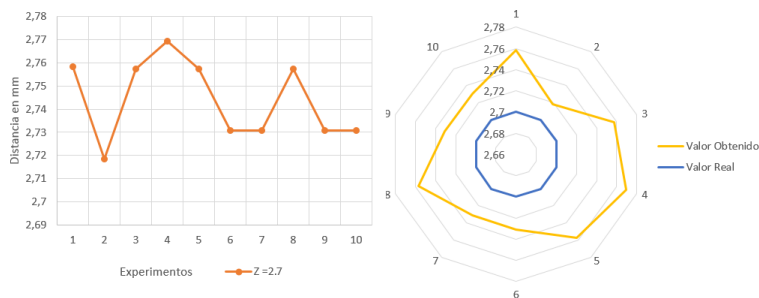


Figura 3.4: Muestras tomadas para la distancia z.

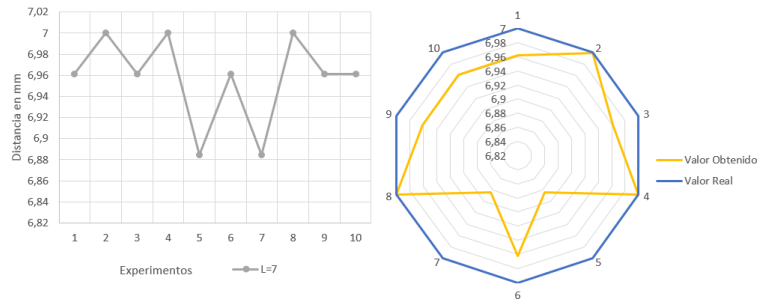


Figura 3.5: Muestras tomadas para el largo de la herramienta.

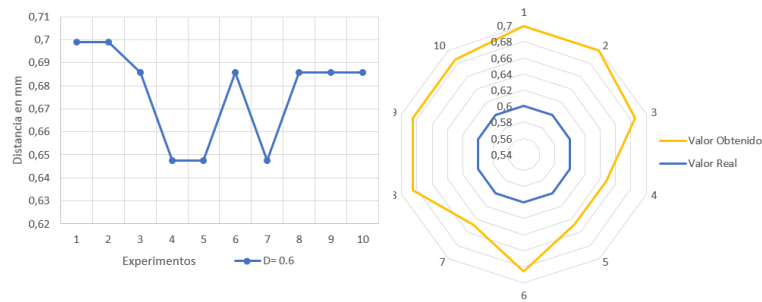


Figura 3.6: Muestras tomadas para el diámetro de la herramienta.

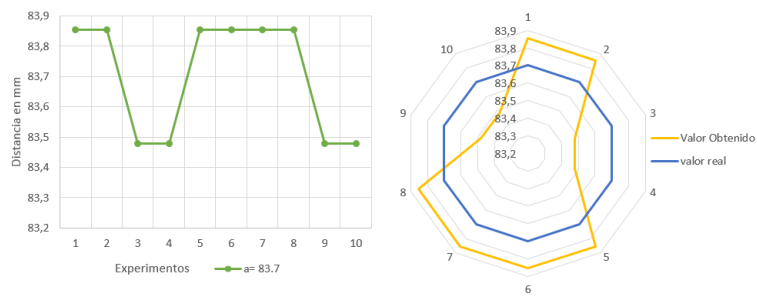


Figura 3.7: Muestras tomadas para el ángulo de la herramienta.

Según la medida analizada varía la dispersión de datos y el error, esto debido al método de aproximación utilizado para encontrar las diferentes medidas. En la Tabla 3.3 se puede verificar un resumen para cada distancia junto con su error y dispersión de datos. En este caso se encontró el error relativo mediante la Ecuación 3.3.

$$Error_{relativo} = \left| \frac{Medida_{real} - Medida_{Obtenida}}{Medida_{real}} \right|, \tag{3.3}$$

Se obtiene mayor error en el ángulo, debido a que su cálculo depende de las medidas encontradas por el diámetro de la herramienta, lo que implica una acumulación de error, al igual que en la dispersión de datos. Sin embargo, es un sistema con una dispersión de datos de centésima de milímetro

Tabla 3.3: Tabla resumen error y dispersión de datos para cada medida.

Distancia	Error relativo(mm)	Dispersión de Datos(mm)
Y	0,00762	0,01524
X	0,00755	0,0893456
Z	0,01632	0,015782
L	0,00604	0,0292296
D	0,12824	0,0175962
a	0,00215	0,179304

lo que permite establecer que es un sistema confiable y que mejora considerablemente la calibración comparada con la realizada manualmente con el ojo humano, además tiene una resolución de 0.0388 mm/píxel, lo que es un indicador de la variación que se puede visualizar en el sistema.

## 3.2. Control de calidad

Como resultado final se muestra en la Figura 3.11 y Figura 3.9, una pieza mecanizada utilizando el software y otra mediante la calibración realizada por el operario, aparentemente en la parte superior se observa iguales, salvo que los huecos taladrados en la pieza calibrada por el operario, no están completamente centrados, esto debido a un mal posicionamiento del cero de pieza. Otro aspecto a resaltar, está en la parte inferior en cada una de las piezas, el efecto generado en la calibrada por el operario se debe, a una incorrecta posición de la herramienta, es decir, que la herramienta no se encuentra perpendicular a la cara del mechero a taladrar.

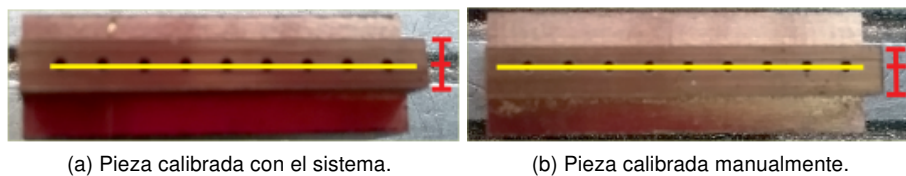


Figura 3.8: Vista superior de piezas terminadas.

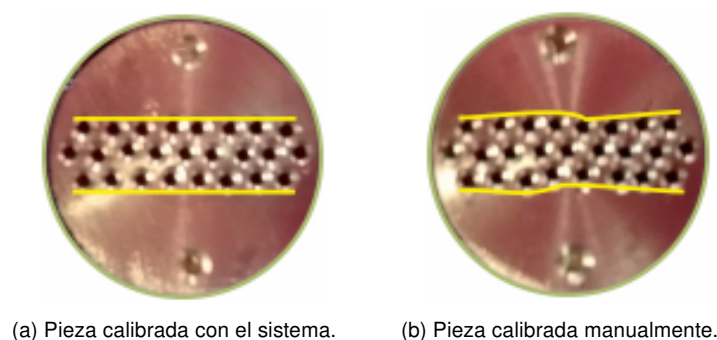


Figura 3.9: Vista inferior de piezas Terminadas.

Como conclusión se observa que el software corrige las fallas presentadas por el operario, mejorando considerablemente la calidad del producto terminado. Para lograr estos resultados, a continuación

se explica los resultados de las dos partes principales de este proyecto, la primera, es el cero de pieza y la segunda, el procesamiento Online, mostrando como para cada uno de los mecheros, se obtienen los resultados esperados en cada una de las etapas.

### 3.2.1. Cero de Pieza

En la Figura 3.10, se observa la identificación oportuna de cada mechero en su vista lateral y diagonal. Para cada caso en específico se encuentra adecuadamente las distancias según lo requerido.

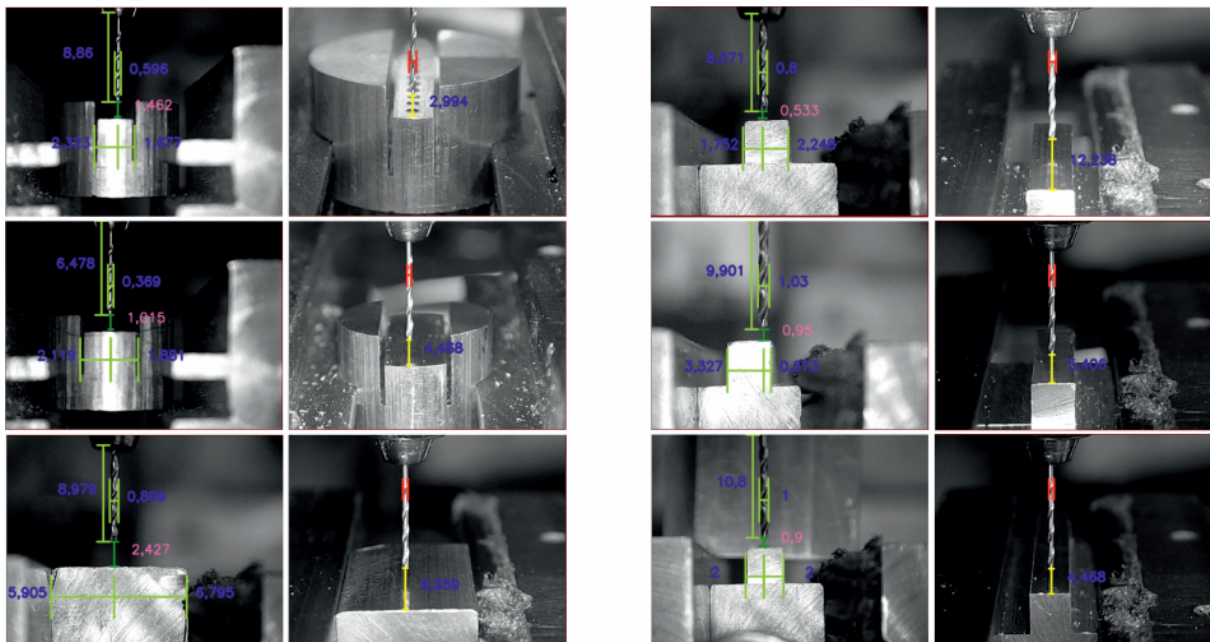


Figura 3.10: Resultados obtenidos en las piezas.

Además de la posición correcta en el eje  $y$ ,  $x$  y  $z$ , también se verifica el estado de la herramienta antes de empezar el mecanizado. En las siguientes imágenes se observa la herramienta en una posición adecuada y una posición que produciría una vibración muy grande, con la cual, se genera una alarma de parada al usuario.

### 3.2.2. Procesamiento Online

Para evaluar el procesamiento online, se muestran cuatro casos específicos, el primero es cuando la herramienta se encuentra en buen estado, el segundo cuando tiene una vibración dentro de un rango aceptable, el tercero cuando se rompe la herramienta y el último con una vibración fuera del rango.



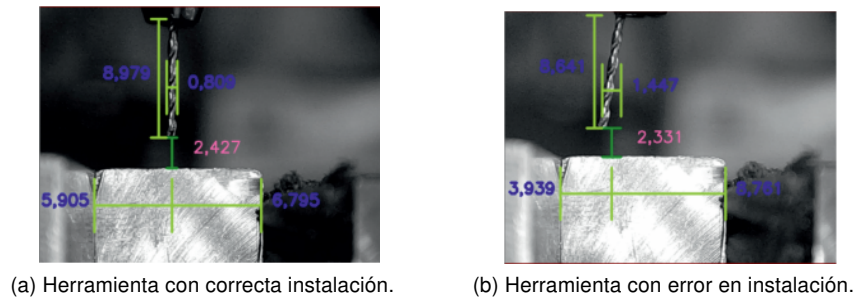


Figura 3.11: Instalación correcta e incorrecta de la herramienta.

Cada uno de estos ejemplos se visualiza en la Figura 3.12, junto con sus respectivas alarmas.

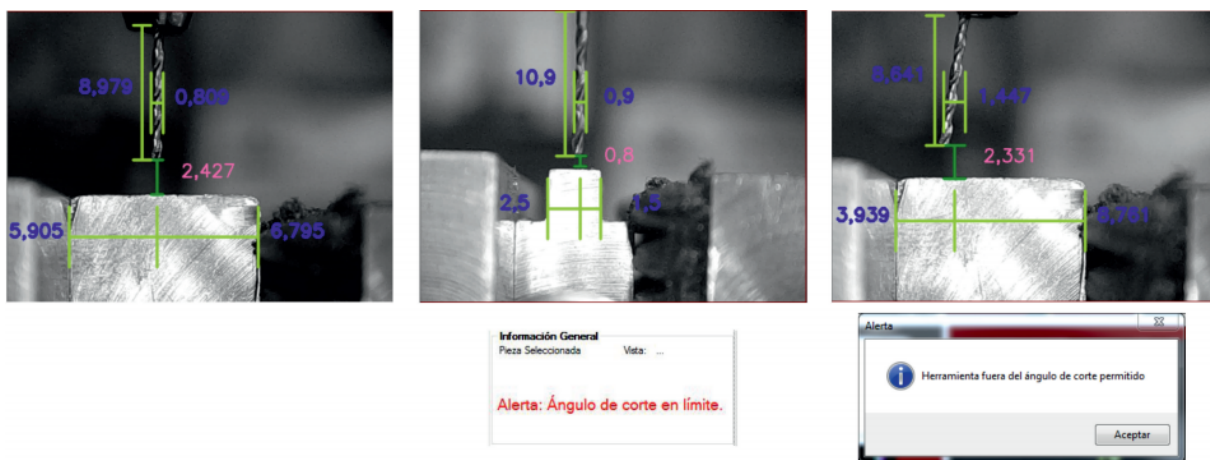


Figura 3.12: Imagen con ángulo de corte de  $90^\circ$  sin alarma, con ángulo de corte de  $90.9^\circ$  con alarma de advertencia y con ángulo de corte  $50^\circ$  con alarma de parada.

### 3.3. Costos y tiempos

Esta sección es una de la más importante en el proyecto, ya que es realmente donde se puede observar la ventaja que ofrece el software realizado. El primer aspecto a evaluar es el costo, donde la inversión es considerablemente más baja comparada con otros sistemas de inspección que utilizan cámaras especializadas. Una de las formas de evaluar económicamente el sistema es, con la cantidad de herramientas rotas durante el mecanizado y piezas dañadas por cada lote de producción. En la Tabla 3.4 se muestra un estimado de piezas dañadas por cada lote producido en los últimos tres meses junto con los resultados obtenidos en el último mes al utilizar el software.

Se observa una disminución de las piezas dañadas por ruptura o vibración excesiva de la herramienta en el mes de Septiembre, al utilizar el software propuesto para la calibración del sistema, lo que

Tabla 3.4: Ruptura de brocas.

Meses	Rupturas por lote
Junio	5
Julio	6
Agosto	4
Septiembre	1

corresponde a una disminución de aproximadamente el 80 % de las pérdidas por error en mecanizado.

Otro aspecto a evaluar es el tiempo utilizado por el operario para establecer el cero de pieza, según experimentos realizados, un operario toma aproximadamente 15 minutos en establecer de manera manual el cero de pieza, mientras que con el software, toma aproximadamente 4 min, lo que indica una disminución de tiempos del 83,44 %, que es un dato a resaltar, no solo por la disminución del tiempo, si no, por la exactitud y dispersión de datos que maneja el software contra el operario.

## Capítulo 4

# Conclusiones

---

Se implementó un sistema que ayuda en la ubicación del cero de pieza y permite realizar una inspección constante de la herramienta durante el taladrado de los mecheros. Su funcionamiento se basa principalmente en visión de máquina, mostrando que este tipo de técnicas se pueden implementar como alternativa a los métodos utilizados frecuentemente para verificar el correcto estado de la herramienta. El sistema tiene como características principales que es económico, de fácil implementación y su funcionamiento es intuitivo, lo que lo hace ideal para poder ser operado por diferentes operarios.

Se diseñó e implementó un sistema mecánico de bajo costo, que permite la ubicación de una cámara en dos posiciones específicas con el fin de realizar la calibración inicial y la inspección online. Su instalación es poco invasiva y permite que el usuario pueda interactuar fácilmente con el sistema.

El software desarrollado para la interacción con el usuario es sencillo y práctico de utilizar, cualquier operario con conocimientos básicos en la programación CNC del taladrado de mecheros, tiene la habilidad de usarlo, ya que su estructura está diseñada para guiar al usuario a través de los pasos tanto de calibración, como de inspección. Esta característica lo hace un software implementable, que se puede añadir fácilmente al procedimiento establecido para el mecanizado de estas piezas.

Se identificaron adecuadamente las medidas para cada una de las vistas, en las 10 piezas especificadas, con un error promedio de 2,79 %, una dispersión de datos del  $\pm 0.0893$  y una resolución de 0.038 mm/píxel, lo que lo hace un sistema confiable para su aplicación superando las distancias que el ojo humano puede percibir.

Se detectaron a tiempo las fallas relacionadas con la broca en el taladrado de piezas, generando dos tipos de alarmas. La primera, una alarma de advertencia que se genera cuando la herramienta tiene cierta desviación permitida en su ángulo de corte, cuando la longitud de la broca en el mecanizado

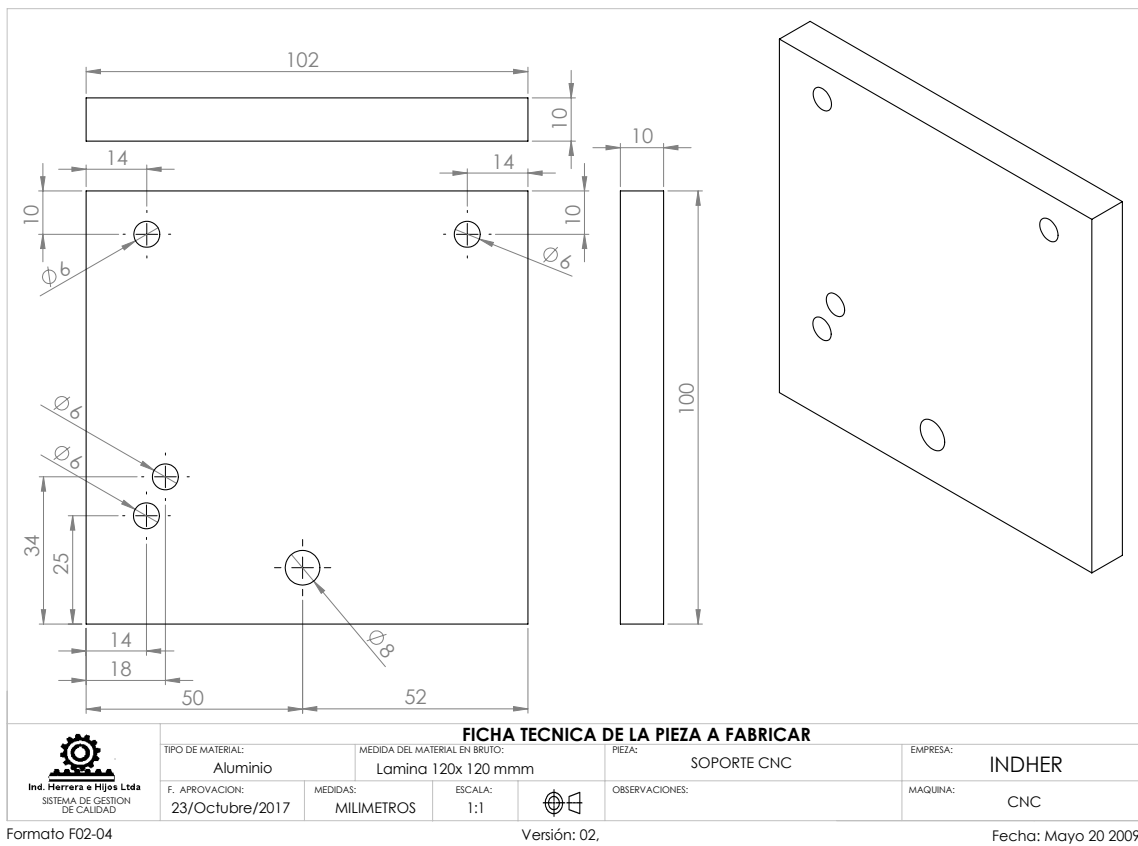
Online ha variado dentro de cierto rango permitido, o cuando el diámetro de la broca detectada no coincide con la programada para la pieza. La segunda, es una alarma de parada que detiene de manera instantánea el mecanizado de las piezas, una vez detecta ruptura de la herramienta o desviaciones del ángulo de corte fuera del rango permitido.

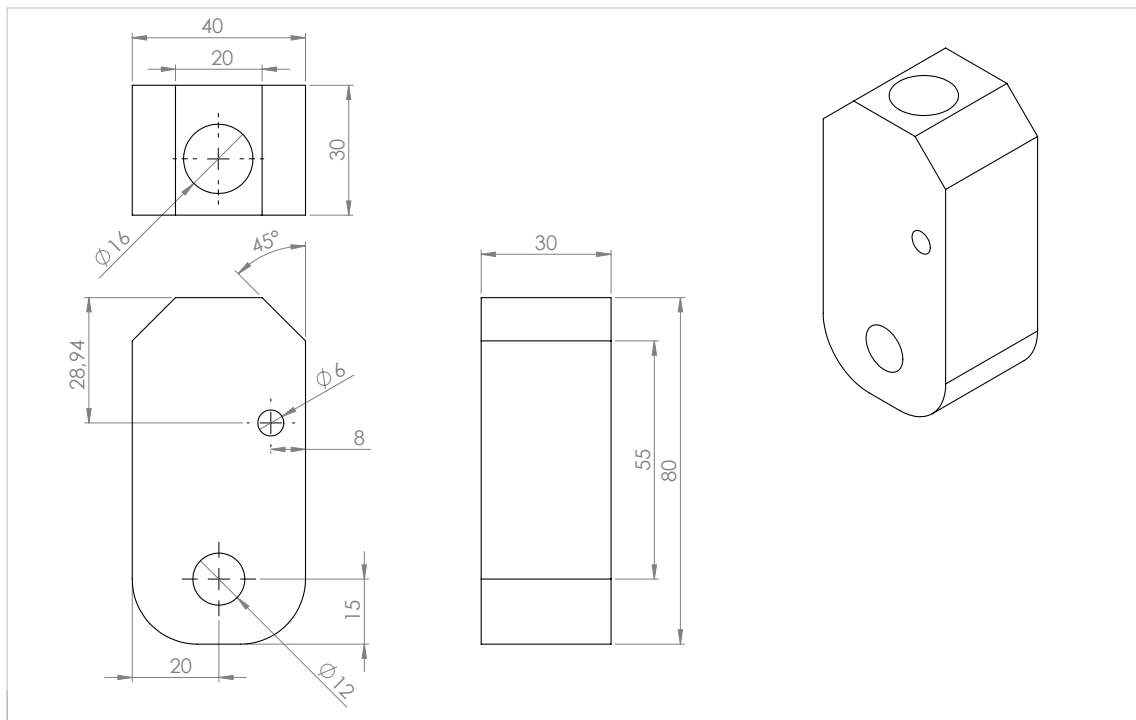
Se logró disminuir los tiempos de calibración en un 83,44 % y se observa una tendencia de disminución de la ruptura de brocas de un 80 %, visualmente la calidad de la piezas terminadas utilizando el software es mejor comparada con aquellas piezas calibradas por el operario, con lo que se logró cumplir el objetivo principal de este trabajo de grado.

Como trabajo futuro, se propone implementar técnicas de visión de máquina que puedan reducir el error y disminuir la dispersión de datos del sistema, sin afectar significativamente el costo computacional y su funcionamiento Online. Igualmente, se propone ampliar el sistema para el taladrado de piezas diferentes a mecheros, y realizar una sincronización completa con Mach3® para realizar automáticamente la calibración inicial, y obtener un solo software que permita el mecanizado de todas las piezas en general.

# Anexos

## Planos del diseño mecánico





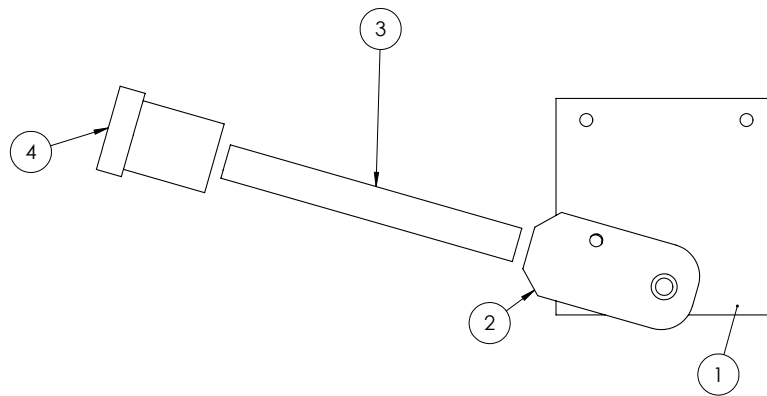
**FICHA TECNICA DE LA PIEZA A FABRICAR**

	TIPO DE MATERIAL:		MEDIDA DEL MATERIAL EN BRUTO:		PIEZA:	EMPRESA:
	Aluminio		Lamina 80 x 20 x 40 mm		Soporte de giro	INDHER
F. APROVACION:	MEDIDAS:	ESCALA:	OBSERVACIONES:		MAQUINA:	
23/Octubre/2017	MILIMETROS	1:1			CNC	

Formato F02-04

Versión: 02,

Fecha: Mayo 20 2009



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Base soporte		1
2	Soporte escualizable		1
3	Eje soporte		1
4	Soporte camara		1

FICHA TECNICA DE LA PIEZA A FABRICAR					
	TIPO DE MATERIAL:	MEDIDA DEL MATERIAL EN BRUTO:		PIEZA:	EMPRESA:
	Aluminio y plastico			Ensamblaje soporte completo	INDHER
F. APROVACION:	MEDIDAS:	ESCALA:		OBSERVACIONES:	MAQUINA:
23/Octubre/2017	MILIMETROS	1:2			

Formato F02-04

Versión: 02,

Fecha: Mayo 20 2009

# Preguntas Frecuentes

## Preguntas Frecuentes

- ¿Cómo es el correcto funcionamiento del software?  
Primero se debe realizar la calibración inicial y luego la inspección on-line.
- ¿Cómo empieza la calibración inicial?  
Dando click en el botón nuevo y siguiendo los pasos.
- ¿En qué consiste la calibración inicial?  
Es una herramienta que permite configurar el cero de pieza en los ejes X, Y y Z, y verificar la perpendicularidad de la Broca con la pieza.
- ¿En qué consiste la inspección on-line?  
Es una herramienta que permite, verificar durante el taladrado de las piezas, que la broca se encuentre en perfecto estado (Longitud y perpendicularidad.
- ¿Puedo hacer calibración de cualquier pieza?  
Las piezas para las que está diseñado el software corresponden a los mecheros registrados en la planilla de trabajo de INDHER.
- ¿Puedo iniciar con la inspección on-line sin realizar la calibración inicial?  
Sí, debe haber guardado un archivo de la calibración inicial para leerlo y continuar con la inspección on-line.
- ¿Puedo ingresar los valores manualmente sin necesidad de la calibración?  
Sí, aunque no es recomendado, usted puede desde la parte inferior de *recientes*, crear un nuevo documento ingresando los datos manualmente, para luego, continuar con la inspección on-line.
- Qué pasa si no identifica adecuadamente los elementos.  
Primero se debe asegurar que:
  - Los elementos aparezcan en la imagen.
  - Se haya seleccionado adecuadamente la pieza y la vista.

Si aun revisando los parámetros anteriores el programa falla, puede usted dirigirse al menú **herramientas->Opciones->configuración** y seleccionar Modo error. Correr el programa y verificar las alarmas.

Para más información puede dirigirse al menú **herramientas->Ayuda->Manual de Operación**.



# Manual de Operación

## MANUAL DE USUARIO INSPECCIÓN HERRAMIENTA EN EL TALADRADO DE PIEZAS



Este manual se realiza con el fin de brindar a los usuarios del sistema “Inspección de la herramienta en el taladrado de piezas”, una herramienta para la instalación e implementación del sistema mecánico y software.

**Versión 1.0**

**2017**

**Elaborado por:** Ing. Lizeth Paola Herrera.



## Índice

Generalidades .....	1
Advertencias y cuidados .....	2
Elementos mecánicos .....	3
Lámina de Fijación .....	4
Soporte ensamblador .....	5
Soporte cámara .....	6
Cámara .....	7
Instalación Física .....	9
Instalación del Software .....	12
Descripción del Software .....	14
Ventana de Bienvenida .....	14



Barra de herramientas .....	16
Ingreso manual de valores .....	19
Calibración Inicial .....	20
Inspección Online .....	26
Visualización .....	29
Modo Normal .....	29
Modo error .....	30
Alarmas .....	32
Alarmas de advertencia .....	32
Alarmas de parada .....	33
Instrucciones .....	34
Generales .....	34
Leer Archivo .....	36





Ingresar Datos .....	37
Posibles errores .....	38
No abre el software .....	38
Aparece un mensaje con error en cámara .....	39
No detecta la pieza .....	39
No detecta la Broca .....	40
No realiza la sincronización con Mach3® .....	41
Preguntas frecuentes.....	42



## Generalidades

Este software permite encontrar el cero de pieza y realizar una inspección online de la herramienta durante el taladrado de piezas.

Los requisitos mínimos para la instalación son:

- **Sistema Operativo:** Windows 7 - 32 bits
- **Procesador:** 2.80GHz
- **RAM:** 1.44 GB
- **Espacio libre en el disco duro:** 1GB
- **Versión .NET:** 4.5
- **Puerto USB 2.0**
- **Tener instalado Mach3®**

Su funcionamiento es intuitivo y puede ser usado por cualquier usuario con conocimientos básicos en máquinas CNC.





## Advertencias y cuidados

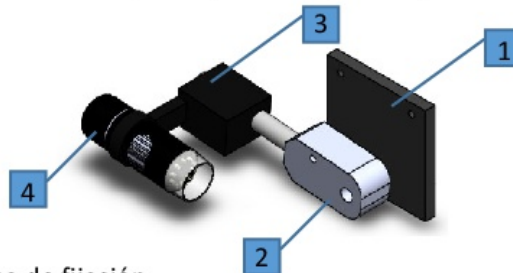
- Debe encontrarse fuera del alcance de los niños o personas no autorizadas para su uso.
- Durante todo el proceso de calibración debe estar presente un operario para evitar accidentes con la máquina CNC.
- Se debe evitar manipular con las manos el sistema mientras se realiza la calibración e inspección online.
- No debe mojarse con ningún líquido o fluido los elementos mecánicos ni electrónicos del sistema.
- Evitar golpes en los elementos del sistema.
- El sensor de la cámara debe encontrarse protegido de posible viruta o desechos sólidos producidos por el desprendimiento de material en el taladrado de las piezas.

2



## Elementos mecánicos

El sistema físico está compuesto por las siguientes partes:



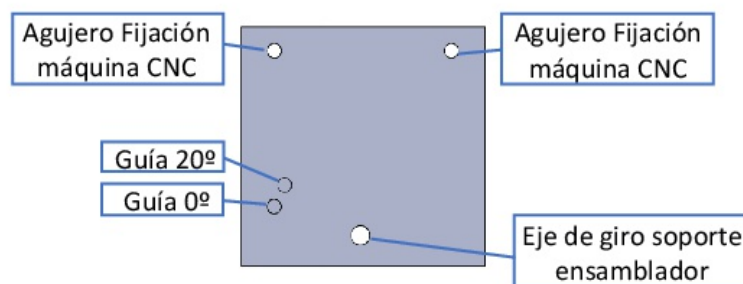
- 1- Lámina de fijación.
- 2- Soporte ensamblador.
- 3- Soporte cámara.
- 4- Cámara.

3



### Lámina de Fijación

Esta mecanizada en aluminio y cumple con la función de unir el soporte completo del sistema con la máquina CNC. Tiene 3 agujeros y dos guías, los 2 agujeros superiores son para la fijación de la máquina CNC y el agujero inferior es el eje de giro para el soporte ensamblador. Las dos guías permiten establecer las posiciones del sistema para su funcionamiento (20° y horizontal).

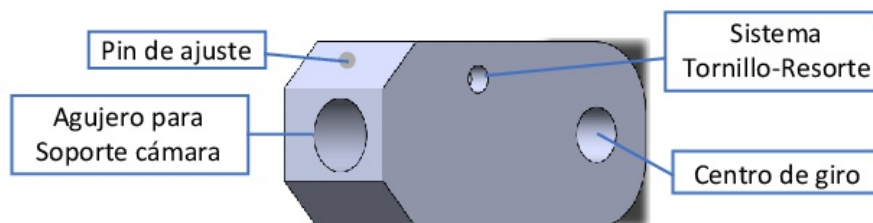


4



### Soporte ensamblador

Corresponde a la parte que ensambla la lámina de fijación con el soporte de la cámara. Tiene tres agujeros, el inferior que empalma con el centro de giro de la lámina de fijación, el superior izquierdo donde se encuentra un sistema resorte-tornillo que permite establecer la ubicación de la cámara según la guía demarcada y, por último, un agujero en la parte lateral para insertar el soporte de la cámara, este último tiene un pin de ajuste para evitar que se gire.

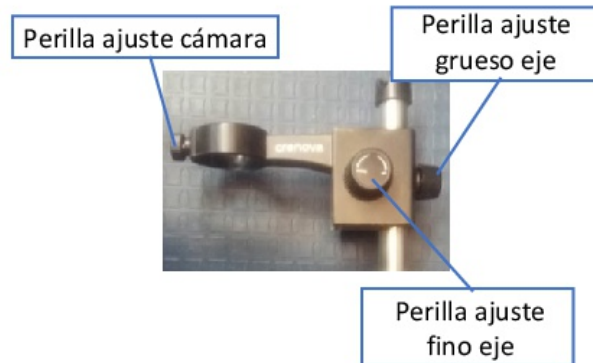


5



### Soporte cámara

Corresponde al soporte incluido en el kit de la cámara, tiene ajuste en el eje y una perilla para establecer la posición de la cámara, está fabricada en plástico negro.

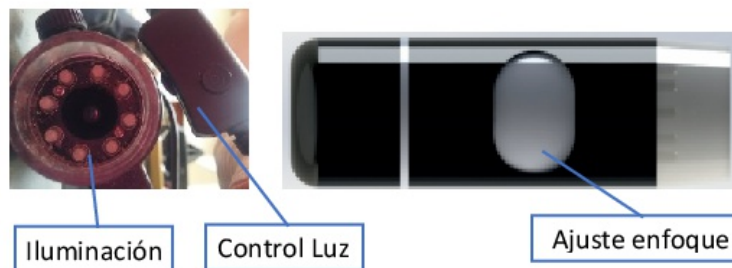


9



### Cámara

Es el elemento que va a servir de ojos para nuestro sistema, es importante proteger el sensor de posible material que afecte su procesamiento, su conexión al computador es por medio de un cable USB, la cámara tiene iluminación independiente junto con su respectivo control y permite enfocar manualmente. En la Tabla 1 se pueden observar sus especificaciones.



7



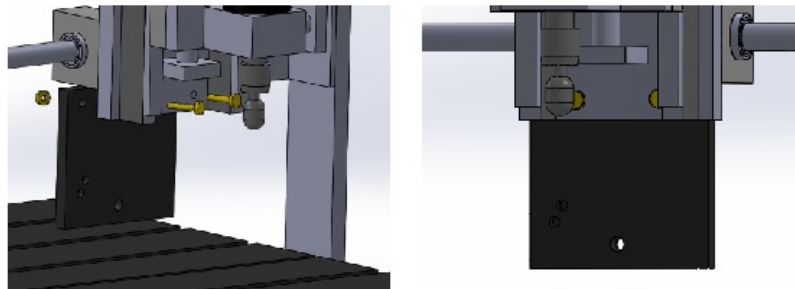
Especificaciones	
Sensor	5 M píxeles
Resolución de captura imagen	2592 x 944 2048 x 1536 1600 x 1200 1280 x 960
Resolución de captura vídeo	1280 x 960
Rango de Foco	Foco manual de 10 mm a 500 mm
Frames por segundo	30fps @ VGA
Relación de ampliación	10x a 300x
Fuente de luz	8 LEDs (Brillo ajustable)
Interfaz con el PC	USB 2.0
Fuente de alimentación	5 v del puerto USB
Sistema operativo	Windows XP/Vista/7/8, Mac 1.3 y above

Tabla 1. Especificaciones de la cámara.



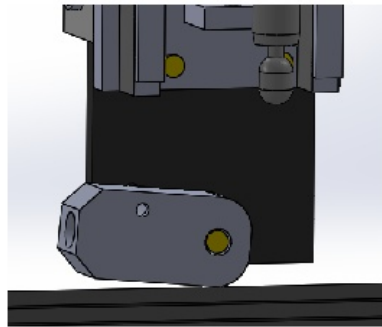
## Instalación Física

Para la instalación del soporte a la máquina CNC, tome la lámina de fijación y con dos tornillos fije a la maquina CNC como se observa en la siguiente figura,





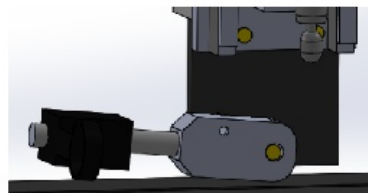
Luego inserte el soporte ensamblador con un tornillo que sirve de eje para el giro, fíjese que el centro de giro corresponde a la punta de la herramienta.



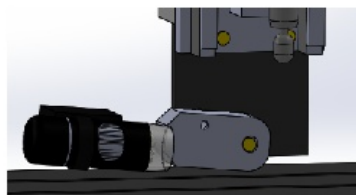
10



Tome el soporte de cámara e insértelo en el soporte ensamblador, ajustando el pin de ajuste.



Por ultimo inserte la cámara y ajuste la perilla.



11



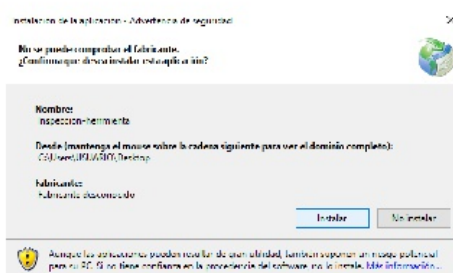


## Instalación del Software

Para la instalación del software se debe dar doble clic en el icono de instalación del software.



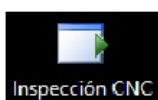
Luego el sistema pregunta si deseamos instalar el software, dar clic en instalar.



12



Una vez instalado aparece un icono en el escritorio con nombre "Inspección CNC".



Al hacer clic sobre el icono se abre la ventana inicial del software.

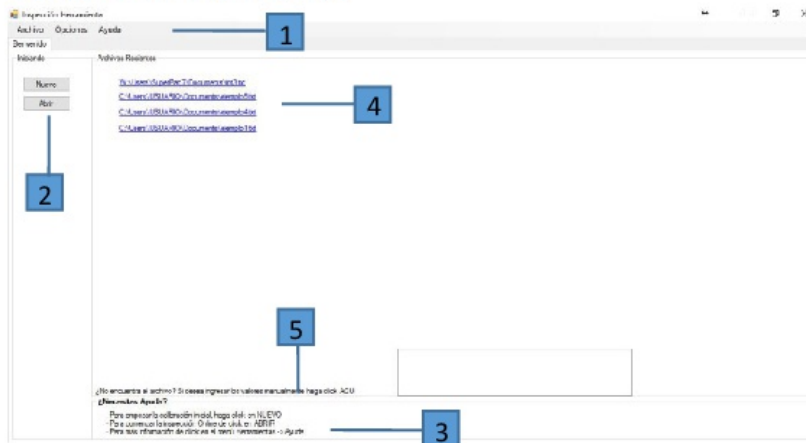
13



## Descripción del Software

Es importante resaltar que antes de iniciar el software la herramienta debe estar en un punto cercano al cero de pieza (centrada).

### Ventana de Bienvenida



14



1. **Barra de herramientas:** Se encuentra en la parte superior del software y contiene los menús Archivo, opciones y Ayuda, más adelante se explican al detalle cada uno de estos menús.
2. **Opciones:** Se puede crear un archivo nuevo o abrir uno ya existente. Si se selecciona *Nuevo*, se realiza el procedimiento completo, pero si se selecciona *Abrir*, se leen los datos guardados previamente, y empieza por la inspección online, esta última opción es útil cuando se tienen varias piezas del mismo lote y la calibración inicial es la misma.
3. **Ayuda:** Esta ubicada en la parte inferior, y da un indicio al usuario, de cómo empezar a usar el software.
4. **Archivos recientes:** Es donde se encuentran los links de los archivos trabajados frecuentemente o creados últimamente, sirve para entrar directamente a la inspección online, partiendo de un trabajo guardado previamente.
5. **Ingreso manual:** Es una herramienta que permite al usuario saltarse la calibración inicial, ingresando los valores de la calibración manualmente.

15



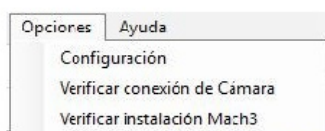
## Barra de herramientas

- 1. Archivo:** Muestra opciones como *Nuevo*, *Abrir*, *Recientes*, *Guardar*, *Guardar como*, y *Salir*.

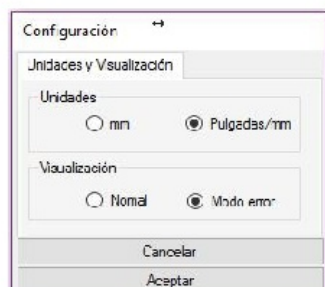


- 2. Opciones:** Tiene tres opciones, la primera es una opción de configuración, la segunda es la verificación de instalación de Mach3® y, por último, se verifica la conexión de la cámara.

16



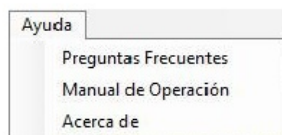
En la parte de configuración se puede configurar el tipo de unidades y el tipo de visualización. En *Unidades* si se desea visualizar todo en *mm* o en *mm y pulgadas*, y en *Visualización* se puede escoger entre *modo error*, para visualizar todo el proceso de procesamiento, y el *modo normal* solamente para ver el resultado.



17



- Ayuda:** Es el menú, donde se encuentra lo relacionado a preguntas frecuentes, el manual de operación y la información acerca del programa.



18



### Ingreso manual de valores

Ingreso Manual

Ingreso de Valores

Pieza: Quem 05 - Ø 0.8

Largo Broca:

Diametro broca:

Cancelar

Aceptar

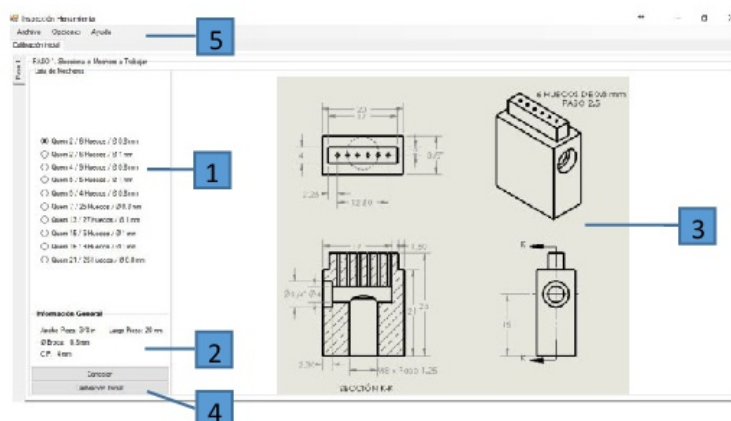
Esta opción es útil cuando se desea empezar inmediatamente con la inspección Online, o se cambia algún parámetro establecido previamente como, por ejemplo, el diámetro de la herramienta a taladrar.

19



## Calibración Inicial

Para entrar a esta sección del software es necesario empezar desde cero, es decir, seleccionar Nuevo en la ventana de bienvenida. Consta de tres Pasos, el primero es Seleccionar el mechero a trabajar cuya ventana tiene 5 secciones.



20

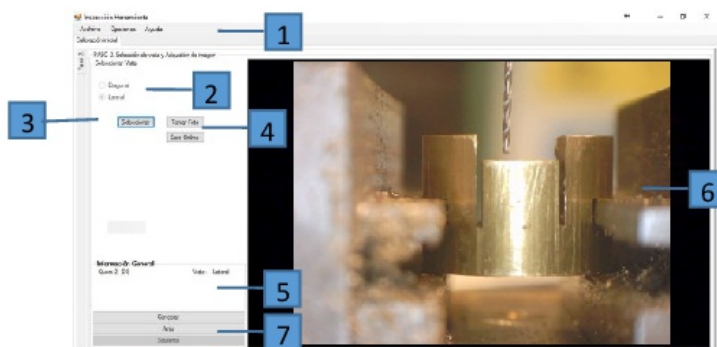


1. Lista de mecheros.
2. Breve descripción del mechero seleccionado como, por ejemplo, medidas externas y diámetro de la broca a taladrar. Estas medidas pueden estar en mm o en mm y pulgadas, según la configuración escogida.
3. Plano del mechero a taladrar, con medidas específicas y diferentes vistas de la pieza.
4. Botones de *Cancelar* y *Calibración Inicial*.
5. Barra de herramientas.

El segundo paso, es la selección de la vista, ya sea lateral o diagonal, dependiendo las medidas que se deseen calcular.

**Nota:** Se debe realizar primero la calibración en la vista Lateral y luego en la diagonal. Si se escoge vista lateral la cámara debe estar ubicada en posición horizontal, y si se escoge vista diagonal la cámara debe estar ubicada a 20°.

21



1. Barra de herramientas.
2. Selección de vista *Diagonal* o *Latera*, recuerde la ubicación de la cámara. Si se escoge vista lateral la cámara debe estar ubicada en posición horizontal, y si se escoge vista diagonal la cámara debe estar ubicada a 20°.
3. Botón *seleccionar* cuando ya determino que vista trabajar.
4. Dos botones para determinar cómo realizar la calibración, el primero es *Tomar foto*, el cual toma una fotografía y calcula las

22



medidas y el segundo es *Cero online*, que corresponde a la calibración con video.

5. Información general del proceso, en este caso, se observa el mechero escogido y la vista seleccionada.
6. Visualización de la captura de la cámara en video, para verificar el correcto enfoque del sistema y visualización correcta de la broca y la pieza.
7. Botones de *cancelar*, *atrás* y *siguiente*.

A continuación, se explican más al detalle los botones *seleccionar*, *Tomar foto* y *Cero Online*.

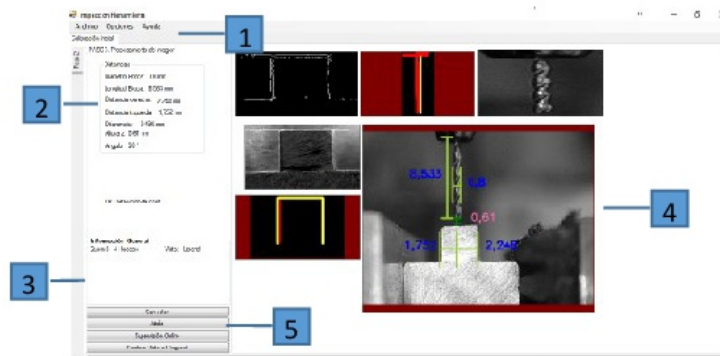
- **Seleccionar:** Una vez escogida la vista a trabajar, se da clic en *seleccionar*, esto activa la sección de visualización de la cámara, y los dos botones *Tomar Foto* y *Cero Online*.
- **Tomar Foto:** Consiste en tomar medidas de una foto estática, si se decide dar clic en él, una vez se toma la foto, se debe dar clic en el botón siguiente, en la parte inferior.

23



- **Cero Online:** Si se desea realizar la calibración con vídeo, se da clic en este botón, una vez clicado dirige a la tercera parte de la calibración de manera automática.

La última parte de la calibración, es el procesamiento de la imagen. En esta parte se puede guardar la calibración realizada para futuras piezas iguales. Recuerde que si no visualiza adecuadamente la pieza y la broca, puede modificar manualmente el enfoque y la iluminación del sistema.



24



1. Barra de herramientas.
2. Visualización de las distancias, dependiendo la vista en que nos encontremos.
3. Información general como, por ejemplo, vista, mechero seleccionado y alertas del sistema.
4. Visualización de la pieza y la broca junto con sus medidas, para este caso vista modo error, para más información dirigirse a la sección Visualización.
5. Botones *Cancelar*, *atrás*, *cambiar a vista* y *supervisión online*.

- **Cambiar a vista:** Dependiendo la vista en que nos encontremos, este botón va a cambiar de nombre, y sirve para retornar al paso anterior y seleccionar la vista faltante. Es decir, si nos encontramos en la vista lateral, el botón se va llamar "Cambiar a vista Diagonal", y si estamos en la vista diagonal, el botón va a cambiar su nombre a "Cambiar a vista Lateral".

25

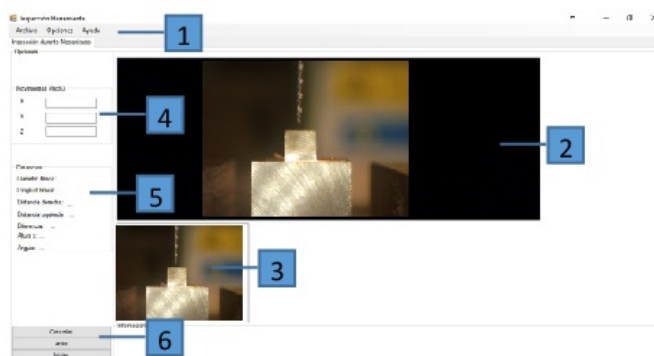


- **Supervisión online:** Es el botón que permite que accedamos a la inspección online, es importante recordar que, para iniciar la inspección online, el sistema debe estar en posición lateral.

## Inspección Online

Esta es la parte final del software, se puede entrar leyendo un archivo, ingresando los valores manualmente, o después de haber realizado la calibración inicial. El sistema debe estar en posición horizontal. Para esta parte, se realiza la sincronización con Mach3®, por eso es importante que Mach3® se encuentre funcionando simultáneamente con el software, ejecutando el programa de taladrado de mecheros. La sincronización se realiza cuando la herramienta de se encuentra 1 mm por fuera de la pieza.

26



1. Barra de herramientas
2. Visualización constante en video de la pieza y la herramienta.
3. Muestra la fotografía con las medidas calculadas cuando el eje z es igual a 1.

27





4. Muestra las distancias recorridas por la máquina CNC en los ejes **y, x y z**.
5. Muestra las medidas calculadas en cada sincronización realizada.
6. Botones *Cancelar, Atrás e Iniciar*.
  - Iniciar: Se da clic en este botón cuando ya se ha iniciado el mecanizado con Mach3®.

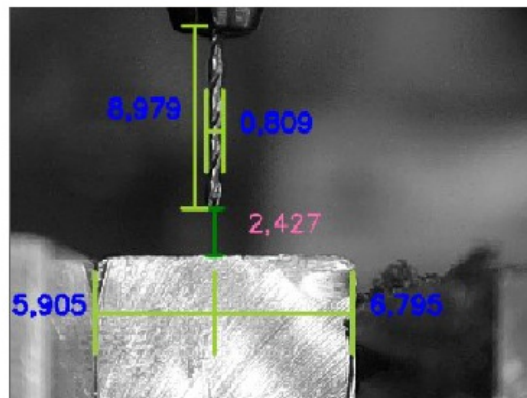
---

**28**

## Visualización

### Modo Normal

Este modo es el que por defecto viene establecido en el software y muestra la imagen final con las medidas detectadas.



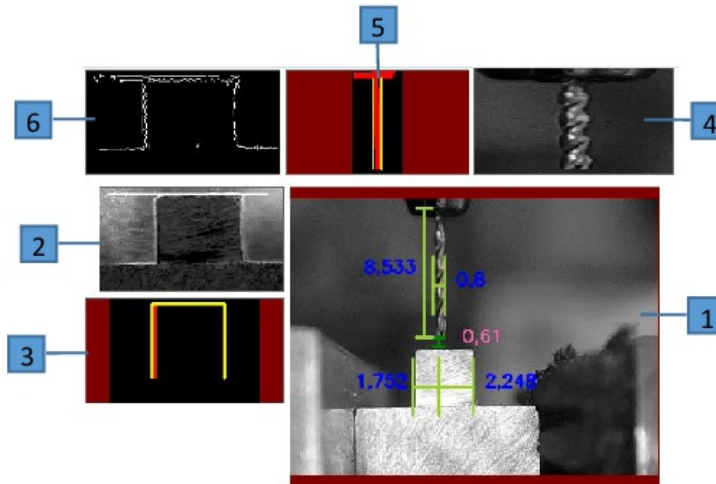
---

**29**



## Modo error

Es un modo de visualización para detectar posibles fallas en el sistema, está compuesto por 6 Imágenes,



30



1. Muestra el resultado final
2. Muestra la pieza únicamente, es importante verificar que esta derecha la cámara y que no se vean otros elementos diferentes a la pieza en la imagen.
3. Muestra las líneas que identifica en la Imagen 2, deben corresponder a los bordes de la pieza.
4. Se visualiza la broca, si la detección de líneas de la pieza es correcta se debe ver únicamente la herramienta, es importante recordar que la herramienta debe estar siempre sobre la pieza y en una ubicación próxima al cero de pieza.
5. Se muestran las líneas que identifican a la broca, tanto sus bordes como sus filos internos. Al igual que en la pieza, debe corresponder con la Imagen 4.
6. Se va intercalando la visualización de la pieza y la broca con los bordes refinados.

**Nota:** Par lograr visualizar adecuadamente los bordes y las imágenes, recuerde que puede ajustar manualmente la luz y el foco de la cámara.

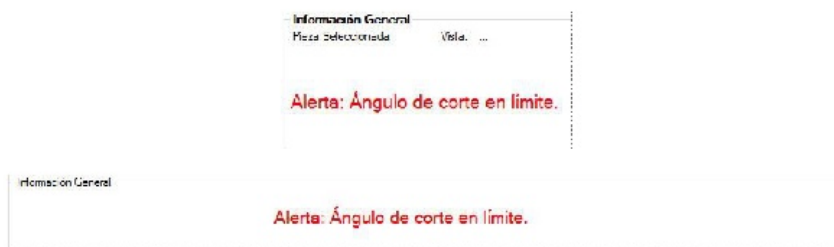
31



## Alarmas

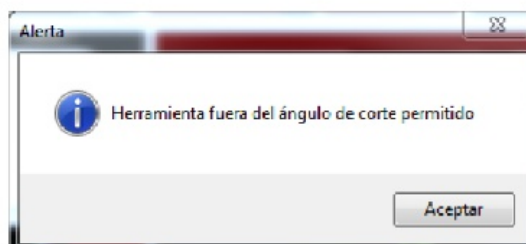
### Alarmas de advertencia

Corresponden aquellas que no representan un daño definitivo en el taladrado de las piezas, pero que pueden afectar el resultado, por ejemplo, vibración dentro del rango permitido. Generalmente, se presentan como un mensaje rojo en la sección de información general de la pieza o información general del sistema.

**32**

### Alarmas de parada

Representan un daño definitivo en el taladrado y es necesario interrumpir el proceso, por ejemplo, ruptura de la herramienta o vibración fuera del rango permitido. En este tipo de alarmas el sistema CNC para inmediatamente y muestra un cuadro de dialogo con la falla presentada por el sistema.

**33**



## Instrucciones

### Generales

- Instale el sistema mecánico.
- Ubique la cámara en **posición horizontal**.
- Inicie el programa.
- Seleccione **Nuevo**.
- Seleccione el mechero.
- Seleccione la **Vista Lateral**.
- De clic en **Cero Online**.
- Verifique las medidas.
- Mueva la máquina CNC según corresponda hasta lograr el cero de pieza en el eje **z** y **y**.
- De clic en cambiar a **Vista Diagonal**.
- Cambie la posición del sistema mecánico a **20º**.
- De clic en **Cero Online**.

34



- Verifique las medidas.
- Mueva la máquina CNC según corresponda hasta lograr el cero de pieza en el eje **x**.
- En este punto puede **guardar el Archivo**.
- De clic en **Supervisión Online**.
- Cambie la posición del sistema mecánico a **horizontal**.
- Inicie el programa de taladrado en Mach3®.
- De clic en **Iniciar** en el Software.
- Este Alerta a cualquier mensaje de alerta o parada de emergencia generada por el Software.
- Una vez termine de clic en **atrás**.

Si va a repetir el mecanizado con piezas del mismo tipo, puede leer el archivo guardado y empezar desde la Inspección Online.

35



## Leer Archivo

- Ubique el sistema mecánico **horizontal**.
- Inicie el programa.
- De clic en el nombre del archivo a abrir en **Archivos recientes**, o en el botón **Abrir** y busque el archivo que desea abrir.
- Se abre la Pestaña Inspección Online.
- Inicie el programa de taladrado en Mach3®.
- De clic en **Iniciar** en el Software.
- Este Alerta a cualquier mensaje de alerta o parada de emergencia generada por el Software.
- Una vez termine de clic en **atrás**.

36

---



## Ingresar Datos

- Ubique el sistema mecánico **horizontal**.
- Inicie el programa.
- De clic en **Ingresar datos manualmente**, llene los datos y de clic en **Aceptar**.
- Se abre la Pestaña Inspección Online.
- Inicie el programa de taladrado en Mach3®.
- De clic en **Iniciar** en el Software.
- Este Alerta a cualquier mensaje de alerta o parada de emergencia generada por el Software.
- Una vez termine de clic en **atrás**.

37

---



## Posibles errores

### No abre el software

1. Verifique que el software este instalado.  
Si no es así, instálelo y verifique nuevamente.  
Si es así, vaya al paso 2.
2. Vaya al **Panel de control** y desinstale el Software.
3. Reinicie y vuelva a instalar el Software (*ver Pág. 12*), verifique nuevamente.  
Si no funciona, verifique que el computador tiene los requisitos mínimos de instalación (*ver Pág. 1*).

38

---



### Aparece un mensaje con error en cámara

1. Verifique que la cámara esté conectada.
2. Con la ayuda de la herramienta **“Verificar conexión cámara”** en el menú **Opciones**, verifique su conexión.  
Si aparece un mensaje con **“Cámara Ok”** verifique nuevamente, si sigue apareciendo el mensaje con error cámara o muestra un mensaje con **“Cámara sin conexión”** contacte con el distribuidor de la cámara e instale los respectivos Drivers para su funcionamiento.

### No detecta la pieza

1. Verifique escogió la pieza adecuada.
2. En visualización *modo error* observe en la Imagen 2, si la pieza se ve completa, derecha y si es el único elemento que conforma la imagen.

39

---



Si no es así, corrija moviendo la cámara y verifique nuevamente.  
Si se encuentra adecuadamente, continúe con el paso 3.

3. Verifique en la Imagen 3, que los bordes detectados sean correspondientes a los de la Imagen 2.  
Si no es así, mueva el control de luz y enfoque hasta que lo detecte.

### No detecta la Broca

1. En visualización *modo error*, verifique si detecta adecuadamente la pieza, si tiene dudas vea la Pág. 33 en la sección **“No detecta la Pieza”**.  
Si no la detecta bien, siga el procedimiento hasta que la pieza sea detectada y verifique nuevamente.  
Si la detecta, siga al paso 2.
2. Verifique en la Imagen 4 si se observa la herramienta, de no ser así, verifique que la herramienta se encuentra sobre la pieza, a

40



una distancia próxima al cero de pieza, de ser necesario mueva manualmente el control de enfoque sin perder de vista la pieza.  
Si observa la broca siga al paso 3.

3. Verifique que en la Imagen 5 se observen los bordes detectados por la broca y que correspondan a la herramienta.  
Si no es así, puede modificar manualmente el enfoque o la iluminación de la cámara hasta que esto ocurra.

### No realiza la sincronización con Mach3®

1. Verifique que Mach3® esté funcionando.
2. Con ayuda de **“Verificar instalación de Mach3®”** en el menú **Opciones**, verifique que el software lo detecte.  
Si no lo detecta, verifique su instalación.  
Si lo detecta comuníquese con el ingeniero a cargo para verificar los registros del sistema.

41



## Preguntas frecuentes

- **¿Cómo es el correcto funcionamiento del software?**

Primero se debe realizar la calibración inicial y luego la inspección on-line.

- **¿Cómo empieza la calibración inicial?**

Dando clic en el botón nuevo y siguiendo los pasos.

- **¿En qué consiste la calibración inicial?**

Es una herramienta que permite configurar el cero de pieza en los ejes Y, X y Z, y verificar la perpendicularidad de la Broca con la pieza.

42

---



- **¿En qué consiste la inspección on-line?**

Es una herramienta que permite, verificar durante el taladrado de las piezas, que la broca se encuentre en perfecto estado (Longitud y perpendicularidad).

- **¿Puedo hacer calibración de cualquier pieza?**

Las piezas para las que está diseñado el software corresponden a los mecheros registrados en la planilla de trabajo de INDHER.

- **¿Puedo iniciar con la inspección on-line sin realizar la calibración inicial?**

Sí, debe haber guardado un archivo de la calibración inicial para leerlo y continuar con la inspección on-line.

43

---





- **¿Puedo ingresar los valores manualmente sin necesidad de la calibración?**

Sí, aunque no es recomendado, usted puede desde la parte inferior de *recientes*, crear un nuevo documento ingresando los datos manualmente, para luego, continuar con la inspección on-line.

- **Qué pasa si no identifica adecuadamente los elementos.**

**Primero se debe asegurar que:**

- Los elementos aparezcan en la imagen.
- Se haya seleccionado adecuadamente la pieza y la vista.
- 

Si aun revisando los parámetros anteriores el programa falla, puede usted dirigirse al menú **herramientas->Opciones->configuración** y seleccionar Modo error. Correr el programa y verificar las alarmas.

Para más información puede dirigirse al menú **herramientas->Ayuda->Manual de Operación.**

# Bibliografía

- [1] J. E. See, "Visual Inspection: A Review of the Literature," no. October, 2012.
- [2] M. Amini and J. Shanbehzadeh, "An experimental machine vision system for quality control of industrial colour printer," *2009 2nd International Conference on Machine Vision, ICMV 2009*, pp. 225–228, 2009.
- [3] Paul K. Gallagher, "Vision Systems for Quality Control," *Image Rochester NY*, no. September, pp. 1–618, 2007.
- [4] D. P. K. G. Lake, "Vision systems for quality control," *Proceedings of WESCON '93*, 1993.
- [5] D. Emzivat, C. Gagnadre, and E. Martin, "Vision sensor for the industrial quality control," no. 465, pp. 127–132, 1999.
- [6] M. J. Ferreira, C. Santos, and J. Monteiro, "Cork Parquet Quality Control Vision System Based on Texture Segmentation and Fuzzy Grammar," *Architecture*, vol. 56, no. 3, pp. 756–765, 2009.
- [7] K. Taouil, Z. Chtourou, and L. Kamoun, "Machine Vision Based Quality Monitoring in Olive Oil Conditioning," *2008 First Workshops on Image Processing Theory, Tools and Applications*, pp. 2–5, 2008.
- [8] M. T. Dunn and J. Billingsley, "The use of machine vision for assessment of fodder quality," *Proceedings 14th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, M2VIP2007*, pp. 179–184, 2007.
- [9] P. Marino and M. Dominguez, "Machine vision system for total quality control of SMT electronic cards," *1997 IEEE International Conference on Intelligent Processing Systems (Cat. No.97TH8335)*, vol. 2, pp. 1427–1431, 1997.
- [10] Tellaeché and R. Arana, "Three-dimensional machine vision and machine-learning algorithms applied to quality control of percussion caps," *IET Computer Vision*, vol. 5, no. 2, p. 117, 2011.
- [11] T. S. Newman and A. K. Jain, "A Survey of Automated Visual Inspection," 1995.

- [12] J. Principe and T. Yoon, "Knowledge representation in machine tool supervision systems," *Proceedings. 5th IEEE International Symposium on Intelligent Control 1990*, 1990.
- [13] M. Barata, T. Rauber, and A. Steiger-Garcia, "Sensor Integration For Expert CNC Machines Supervision," *IEEE International Workshop on Emerging Technologies and Factory Automation*, pp. 178–183, 1992.
- [14] J. A. Assis-lobes, A. Steiger-garcia, and T. Campus, "Application of Stochastic Modelling to Support Predictive Maintenance for Industrial Environments," *Manufacturing Systems*, pp. 117–122, 1996.
- [15] Y. Altintas and W. K. Munasinghe, "A Hierarchical Open-Architecture CNC System for Machine Tools," *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 43, no. 1, pp. 349–354, 1994.
- [16] C. Gaudin, "Supervision system by analysis of the electrical signals controlling the actuators of the machine tool," *3rd International Power Electronic Congress. Technical Proceedings. CIEP '94*, 1994.
- [17] P. Bosetti, M. Leonesio, and P. Parenti, "On development of an optimal control system for real-time process optimization on milling machine tools," *Procedia CIRP*, vol. 12, pp. 31–36, 2013.
- [18] B. Sick, "Monitoring the wear of cutting tools in CNC-lathes with artificial neural networks," *1997 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 4, pp. 3381–3384, 1997.
- [19] R. E. Haber and a. Alique, "Intelligent process supervision for predicting tool wear in machining processes," *Mechatronics*, vol. 13, no. 8-9 SPEC., pp. 825–849, 2003.
- [20] D. a. Tobon-Mejia, K. Medjaher, and N. Zerhouni, "CNC machine tools wear diagnostic and prognostic by using dynamic Bayesian networks," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 28, pp. 167–182, 2012.
- [21] D. Merad, J. Triboulet, a. Chedebois, M. Mallem, C. Fioroni, and J. Passemar, "Diagnostic assistance using oriented vision system for high velocity tooling machines," *ETFA 2001. 8th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. Proceedings (Cat. No.01TH8597)*, vol. 2, pp. 0–3, 2001.
- [22] D. Merad, S. Lelandais, M. Mallem, and J. Triboulet, "Adaptive vision system for high velocity tooling machines," *Proceedings - 7th International Symposium on Signal Processing and Its Applications, ISSPA 2003*, vol. 1, no. 1, pp. 545–548, 2003.
- [23] W. Kollment, P. O'Leary, R. Ritt, and T. Klünsner, "Force based tool wear detection using Shannon entropy and phase plane," *2017 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, pp. 1–6, 2017.

- [24] S. Huang, D. H. Zhang, W. Y. Leong, H. L. Chan, K. M. Goh, J. B. Zhang, and Kristo, "Detecting tool breakage using accelerometer in ball-nose end milling," *2008 10th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, ICARCV 2008*, no. December, pp. 927–933, 2008.
- [25] C. Y. Wang, Y. X. Xie, Z. Qin, H. S. Lin, Y. H. Yuan, and Q. M. Wang, "Wear and breakage of TiAlN- and TiSiN-coated carbide tools during high-speed milling of hardened steel," *Wear*, vol. 336-337, pp. 29–42, 2015.
- [26] P. B. Huang, C. C. Ma, and C. H. Kuo, "A PNN self-learning tool breakage detection system in end milling operations," *Applied Soft Computing Journal*, vol. 37, pp. 114–124, 2015.
- [27] H. S. Cho, J. H. Han, S. Y. Chi, and K. H. Yoo, "A tool breakage detection system using load signals of spindle motors in CNC machines," *International Conference on Ubiquitous and Future Networks, ICUFN*, vol. 2016-August, pp. 160–163, 2016.
- [28] L.-w. Lee, S.-s. Yeh, and J.-i. Lee, "Application of Taguchi Method for Determining the Best-Fitted Control Parameters of CNC Machine Tools," pp. 1–6, 2017.
- [29] J. Yang and A. Yuen, "An analytical local corner smoothing algorithm for five-axis CNC machining," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 123, no. May, pp. 22–35, 2017.
- [30] T. Shivakumar, "Python based 3-Axis CNC Plotter," pp. 823–827, 2016.
- [31] J. E. Correa, N. Toombs, and P. M. Ferreira, "A modular-architecture controller for CNC systems based on open-source electronics," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 44, pp. 317–323, 2016.
- [32] H.-W. Chiu and C.-H. Lee, "Prediction of machining accuracy and surface quality for CNC machine tools using data driven approach," *Advances in Engineering Software*, vol. 0, pp. 1–12, 2017.
- [33] I. Douven, "Clustering colors," *Cognitive Systems Research*, vol. 45, pp. 70–81, 2017.
- [34] J. W. v. Goethe, J. W. v. G. Arnaldo, *et al.*, "Teoría de los colores," 1999.
- [35] A. Khekade and K. Bhoyar, "Shadow detection based on RGB and YIQ color models in color aerial images," *2015 1st International Conference on Futuristic Trends in Computational Analysis and Knowledge Management, ABLAZE 2015*, no. Ablaze, pp. 144–147, 2015.
- [36] V. J. D. Tsai, "A comparative study on shadow compensation of color aerial images in invariant color models," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 44, no. 6, pp. 1661–1671, 2006.
- [37] W. B. Trattler, P. K. Kaiser, and N. J. Friedman, "Review of Ophthalmology, Second Edition," *American Journal of Ophthalmology*, vol. 155, no. 1, p. 202.e3, 2012.
- [38] D. Pascale, "A review of RGB color spaces... from xyY to R'G'B'," *Babel Color*, pp. 1–35, 2003.

- [39] S. Susstrunk, R. Buckley, and S. Swen, "Standard RGB Color Spaces," *New York*, pp. 127–134, 1999.
- [40] P. Nishad and R. Manicka Chezian, "Various Colour Spaces and Colour Space Conversion," *Journal of Global Research in Computer Science*, vol. 4, no. 1, pp. 44–48, 2013.
- [41] E. Cuevas, D. Zaldívar, and M. Pérez-Cisneros, *Procesamiento digital de imágenes usando MatLAB & Simulink*. Area: computación. Suárea: matemáticas por computadora, Alfaomega, 2010.
- [42] A. PÉREZ CASTAÑO, *Python fácil*. Alfaomega, Marcombo, primera ed ed., 2016.