

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA
DUPLICADORA DE LLAVES AUTÓNOMA, A PARTIR DE UNA
MÁQUINA DUPLICADORA MANUAL.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

ARÉVALO SÁNCHEZ JORGE EDUARDO

1.jorge.arevalo@gmail.com

PAREDES REGALADO ALFREDO ISRAEL

israelpar@hotmail.com

DIRECTOR: NIETO RÍOS EDWIN GUILLERMO, ING

edwin.nieto@epn.edu.ec

Quito, Agosto 2013

DECLARACIÓN

Nosotros, Arévalo Sánchez Jorge Eduardo y Paredes Regalado Alfredo Israel, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Arévalo Sánchez Jorge Eduardo

Paredes Regalado Alfredo Israel

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Arévalo Sánchez Jorge Eduardo y Paredes Regalado Alfredo Israel, bajo mi supervisión.

Edwin Nieto, Ing

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradecer a mis padres, quienes me ofrecieron la oportunidad de empezar esta carrera, y el apoyo para terminarla.

Al Ing. Edwin Nieto que nos dio su tiempo, y consejo; y a Israel, mi compañero, pues sin su ayuda este proyecto no habría sido posible.

Jorge

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres,

Jorge

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por todas sus bendiciones, a mis padres y mi hermana por brindarme todo el apoyo y la confianza.

Agradezco a mis tías, tíos y primos por el apoyo que siempre se han brindado.

Agradezco a todos mis amigos de, la última y nos vamos, que siempre estuvieron brindándome su amistad y colaboración.

Agradezco a Jorge, mi compañero, por su amistad y toda su colaboración en el desarrollo de este proyecto.

Agradezco al Ing. Edwin Nieto, por su paciencia y guía en todo el desarrollo del presente proyecto.

Israel

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres.

Israel

CONTENIDO

Contenido	i
Resumen	1
Presentación	2
1. Capítulo 1	3
Marco Teórico	3
1.1 Introducción	3
1.1.1 Tipos de llaves de cerraduras	4
1.1.2 Tipos de cerraduras	7
1.2 Máquina Duplicadora de Llaves	8
1.2.1 Partes Principales de una Máquina Duplicadora	9
1.2.2 Duplicado de Llaves Manual	10
1.3 Control Numérico	11
1.3.1 Características del Control Numérico	11
1.3.2 Ejes de Coordenadas	12
1.3.3 Desplazamientos	13
1.4 Actuadores	14
1.4.1 Motores Paso a Paso	15
1.5 Procesamiento Digital de Imágenes	19
1.5.1 Representación digital de la imagen	19
1.5.2 Pre procesamiento de la imagen	21
1.5.3 Segmentación	22
2. Capítulo 2	24
Diseño y Construcción del Sistema de Control	24
2.1 Construcción mecánica	24
2.1.1 Máquina modificada	25
2.1.2 Movimiento eje X	26
2.1.3 Movimiento eje Y	29
2.1.4 Fin de carrera	32
2.1.5 Cubículo de adquisición de imagen	33

2.2	Diseño del sistema de control.....	37
2.2.1	Circuito de control.....	37
2.2.2	Manejo de motores paso a paso unipolar	45
2.2.3	Fuentes	49
2.2.4	Protecciones eléctricas.....	53
3.	Capítulo 3	55
	Desarrollo del Software de Soporte.....	55
3.1	HMI.....	56
3.1.1	Asistente para Duplicado de Llaves.....	57
3.1.2	Menú Principal.....	62
3.2	Descripción General del Proceso.....	72
3.2.1	Calibración	72
3.2.2	duplicado	74
3.3	Componente de Procesamiento de Imágenes	78
3.3.1	Proceso de Calibración.....	79
3.3.2	Proceso de Análisis de la Llave	83
3.4	Sistema Micro Procesado	86
3.4.1	Subrutina de movimiento de los motores	90
4.	Capítulo 4	93
	Pruebas y Resultados	93
4.1	Funcionamiento Mecánico	93
4.1.1	Recorrido Eje X	93
4.1.2	Recorrido Eje y	95
4.1.3	Ubicación de la llave en blanco	96
4.2	Pruebas eléctricas	97
4.2.1	prueba a circuito de manejo de motores paso a paso.....	97
4.2.2	Pruebas del circuito de control y comunicación serial	98
4.3	Pruebas de Calibración	99
4.4	Pruebas Integrales.....	100
4.4.1	Falla en la profundidad de corte.....	101
4.4.2	Falla en la longitud de corte.....	101
4.4.3	Falla de uno de los motores paso a paso	102
4.4.4	Prueba Final	102
4.5	Listado de elementos y costo	104
5.	Capítulo 5	107

Conclusiones y Recomendaciones	107
5.1 Conclusiones.....	107
5.2 Recomendaciones.....	109
Referencias Bibliográficas.....	110
Anexos	112
6. Anexo 1.....	113
Diagramas de Circuitos	113
Circuito de comunicación serial.....	113
Circuito de control	114
Circuito manejo motor paso a paso	117
7. Anexo 2.....	121
Manual de Usuario	121
Partes de la Máquina	121
Conexiones	122
Energía:.....	122
Cámara de video:	123
Comunicación Serial.....	123
Ubicación de la llave en blanco	123
Ubicación de la llave original	124
Software de Soporte.....	124
Instalación	125
Calibración.....	130
Duplicado de Llaves	133
8. Anexo 3.....	137
Medición de fuerza mecánica.....	137

RESUMEN

El presente trabajo expone el diseño y construcción de un sistema capaz de realizar duplicados de llaves planas, que a diferencia de una máquina duplicadora manual, emplea una fotografía de la llave como modelo.

El sistema se desarrolló a partir de una máquina duplicadora manual, a la que se adaptaron componentes de instrumentación que permitan, controlar la operación de la máquina, y recuperar información para realizar el control, empleando un sistema micro procesado.

Se desarrolló en MATLAB, un componente de software, que procesa una fotografía de una llave plana, y junto con las características mecánicas de la máquina, retorna toda la información requerida para realizar un duplicado.

Se desarrolló en Java una aplicación, que sirve de enlace entre el componente de procesamiento de imágenes, y el sistema micro procesado, además permite obtener una fotografía de la llave desde una cámara de video, y sirve como Interfaz Hombre Máquina, para el usuario del sistema. Esta aplicación se ejecuta en un computador personal.

Una vez implementado el sistema se realizaron pruebas, aplicando diferentes condiciones, llaves de tamaños diferentes, diferentes condiciones de iluminación, en las fotografías, con lo que se determinó el grado de precisión del sistema, y las limitaciones de esta aplicación.

PRESENTACIÓN

En el presente trabajo se desarrolla el diseño y construcción de una máquina duplicadora de llaves planas, que empleando técnicas de procesamiento de imágenes, permite realizar copias en base a la fotografía de una llave.

En el capítulo 1, se presenta a modo de introducción, algunos conceptos, desde los que se partió para el desarrollo de este sistema; tipos y partes de una llave, partes y el funcionamiento de la máquina duplicadora de llaves, conceptos de procesamiento de imágenes.

En el capítulo 2, se describe los componentes del sistema, los circuitos desarrollados, y las adaptaciones que se realizaron en la máquina original.

En el capítulo 3, se detalla los algoritmos y la implementación del software desarrollado para la interfaz hombre máquina (HMI), el sistema micro procesado, y el componente de procesamiento de imágenes que se ejecuta en el computador personal.

En el capítulo 4, se presentan las pruebas realizadas a cada componente del sistema, como también pruebas integrales donde intervienen todos los componentes tanto mecánicos y electrónicos, como de software y hardware, para verificar el correcto funcionamiento del sistema.

En el capítulo 5 se incluyen algunas conclusiones y recomendaciones, resultado del desarrollo de este proyecto.

En el anexo 1, se presentan diagramas de los circuitos que se desarrollaron. En el anexo 2, se incluye el manual de usuario, donde se indica cómo se debe usar la aplicación que se desarrolló. En el anexo 3, se indican las pruebas realizadas para dimensionar los motores que se utilizaron.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 INTRODUCCIÓN

Un cerrojo o cerradura se puede definir como un dispositivo que incorpora un pestillo, argolla o un interruptor para asegurar un objeto- como una puerta, cajón o máquina- en un estado cerrado, abierto, bloqueado, apagado, o encendido, y que restringe los medios por los que se puede liberar de ese estado. [1]

Una llave es un instrumento que se utiliza para operar un cerrojo. Una llave típica consiste de dos partes, un brazo, el cual se desliza dentro y encaja en el cerrojo; y una empuñadura, generalmente plana que se deja fuera, y que sirve para aplicar torque y activar el mecanismo.

En general, como las partes principales de una llave se puede considerar las siguientes (ver Figura 1. 1):

- ✓ Empuñadura
- ✓ Brazo
- ✓ Mástil
- ✓ Hombro
- ✓ Paleta
- ✓ Muesca
- ✓ Acanaladura

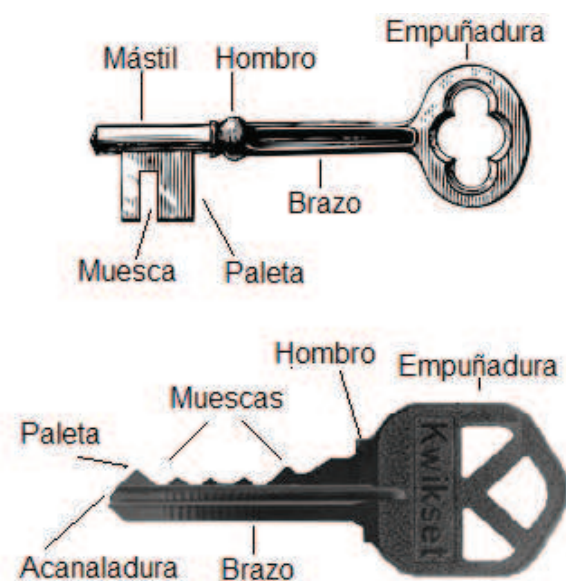


Figura 1. 1 Partes de una llave

1.1.1 TIPOS DE LLAVES DE CERRADURAS

En la actualidad existen tres tipos de llaves principales:

- ✓ De ojo, antigua o clásica (bit key).
- ✓ Tubular
- ✓ Moderna o Plana

1.1.1.1 De ojo, antigua o clásica (Bit Key).

La llave clásica, como se observa en la Figura 1. 2, es usualmente hecha de hierro, latón, acero, o aluminio. Consta de una empuñadura, un brazo generalmente cilíndrico y sólido que termina en un segmento más ancho llamado hombro que sirve como límite. A continuación se encuentra el mástil (más delgado que el brazo) que sostiene la parte de la llave que entra en el cuerpo del cerrojo, activando el mecanismo cuando se gira la llave. Este tipo de llaves se utiliza en cerraduras de guardas.

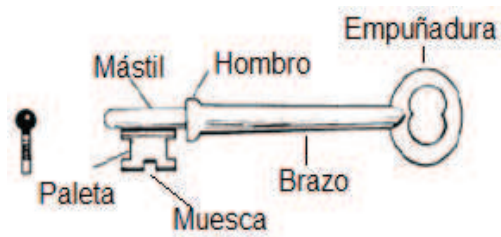


Figura 1.2 Llave antigua o clásica

➤ *De cañón (Barrel Key).*

Es una modificación de la llave antigua, que tienen el brazo hueco, y en general no tiene hombro.

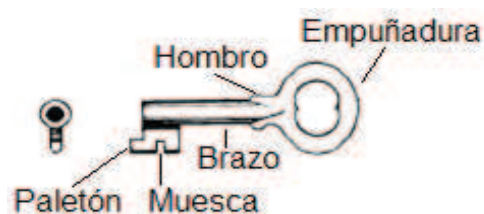


Figura 1.3 Llave de cañón

1.1.1.2 Tubular

Una llave tubular tiene un brazo cilíndrico corto como se observa en la Figura 1. 4, con muescas hechas en círculo alrededor del extremo del brazo. Se utilizan para operar cerraduras tubulares de guardas.



Figura 1.4 Llave tubular

En la punta pueden tener un saliente que determina la posición que debe tener al entrar en la cerradura.

1.1.1.3 Moderna o Plana

La llave más común actualmente es la llave plana, de espesor normalmente constante, que tiene una empuñadura, uno o dos hombros que sirven como referencia, un brazo que tiene acanaladuras en los lados planos y las muescas que se cortan a lo largo de la paleta como se muestra en la Figura 1.5 .

Las muescas son de distinta profundidad y longitud formando así el código de giro, lo que permite el encaje de la llave en la estructura de un cerrojo determinado para poder abrirlo.

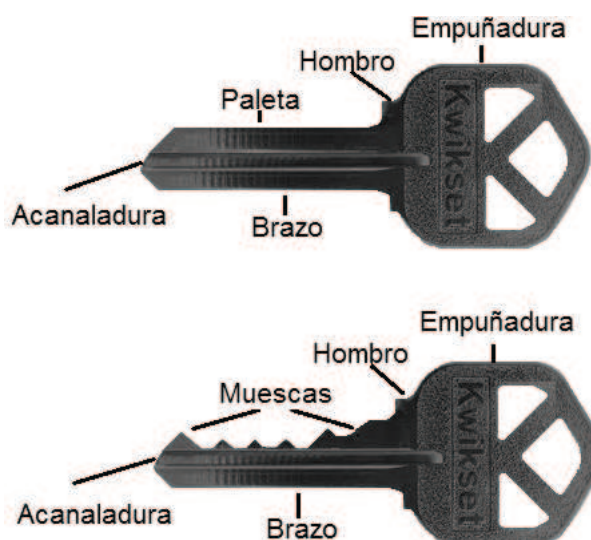


Figura 1.5 Llave plana

Lo que distingue una llave de otra, son las acanaladuras en sus lados como el corte y número de muescas que dan el código de giro.

Este tipo de llaves se utiliza en cerraduras tipo tambor de pines.

1.1.2 TIPOS DE CERRADURAS

En la actualidad existen dos tipos principales de cerraduras que son:

- ✓ Cerraduras de guardas
- ✓ Cerraduras de tambor de pines

1.1.2.1 Cerradura de guardas.

El interior del cerrojo tiene crestas o guardas, que ayudan a prevenir el uso de una llave que no corresponda. La llave ingresa en la cerradura, se gira para activar el mecanismo.

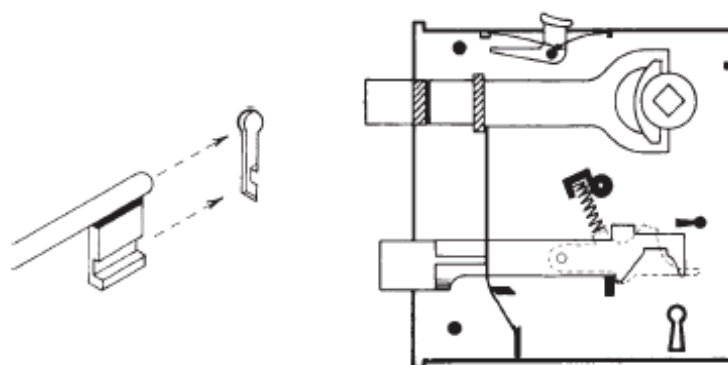


Figura 1. 6 Cerradura de guardas

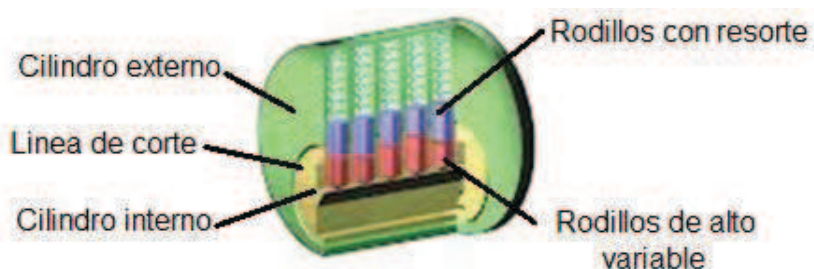
1.1.2.2 Cerradura de Tambor de Pines

En la Figura 1. 7.a se muestra una cerradura de tambor de pines que consta de dos cilindros concéntricos, el cilindro externo aloja una serie de rodillos de distinto alto sujetos por resortes, dispuestos a lo largo del cilindro, el cilindro interno aloja otros rodillos que hacen contacto con los cilindros externos.

El alto de los rodillos, se complementa de tal forma que cuando no hay una llave dentro del cerrojo, la presión de los resortes, empuja los rodillos externos parcialmente dentro del cilindro interno, evitando que se mueva. Solamente una

parte del rodillo externo cabe dentro del cilindro interno, ya que éste aloja los rodillos internos. Hay un espacio entre el cilindro externo y el interno (línea de corte), que ayuda a que el cilindro interno gire libremente.

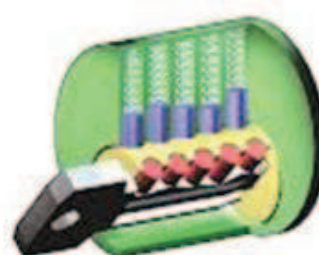
Cuando la llave correcta se inserta, como se observa en la Figura 1. 7.b, las muescas empujan los rodillos internos hacia afuera, causando que los extremos de los rodillos internos y externos se encuentren en la línea de corte, liberando el cilindro interno para girar con libertad (Figura 1. 7.c).



a. Cerradura bloqueada



b. Llave correspondiente



c. Cerradura desbloqueada

Figura 1. 7 Cerradura de tambor de pines

1.2 MÁQUINA DUPLICADORA DE LLAVES

No fue sino hasta 1917 cuando, en Estados Unidos, se pudo inventar una máquina que permitiera un rápido duplicado de llaves planas metálicas, lo que contribuyó a la proliferación de estos aparatos durante el siglo XX.

En el mercado actual hay una gran variedad de máquinas duplicadoras antiguas y modernas, muchas cerrajerías usan una para cada tipo de llave, pero también

existen máquinas modernas con sistemas mejorados capaces de duplicar varios tipos de llaves.

Luego están las de última generación, éstas vienen con un sistema a láser. Este tipo de máquinas presenta un pequeño margen de error en cualquier duplicado que se realice, pero este tipo de máquinas tienen un precio muy elevado.

1.2.1 PARTES PRINCIPALES DE UNA MÁQUINA DUPLICADORA

Existen en el mercado una gran variedad de máquinas duplicadoras de llaves del tipo manual, cada una con pequeñas variaciones y aditamentos los cuales dependen principalmente del fabricante, pero todas cuentan con el mismo principio de funcionamiento, o sea con un conjunto de partes principales como se muestra en la Figura 1. 8, en donde:

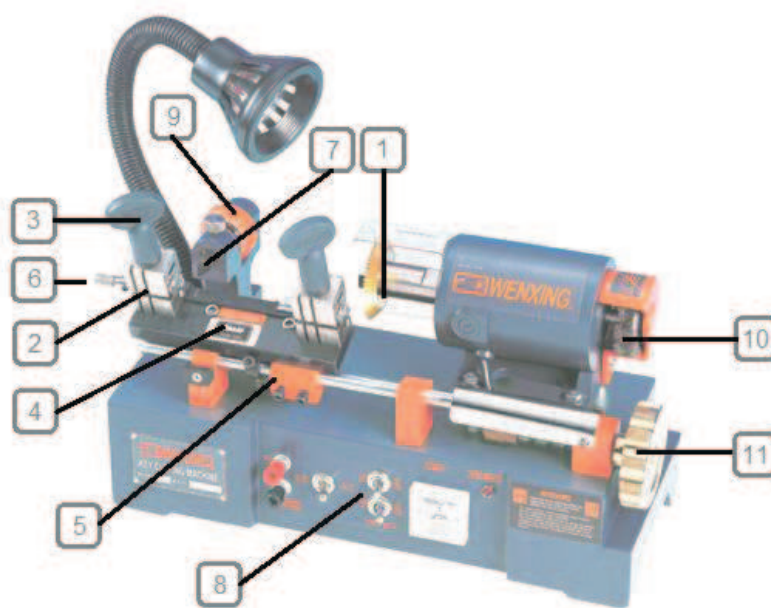


Figura 1. 8 Partes de una máquina duplicadora

1. Fresa: herramientas de corte, utilizada para dar la forma de la llave.
2. Mordazas de cuatro lados: permiten sujetar la llave de forma continua.

3. Manilla de la mordaza: permite aflojar o apretar las llaves.
4. Carro: base móvil, que permite el desplazamiento del duplicado hacia la fresa.
5. Manilla del carro: dispositivo para controlar el desplazamiento del carro.
6. Calibre: mecanismo para alinear la llave original con el duplicado.
7. Palpador: recorre el perfil de una llave original permitiendo hacer el duplicado de ésta.
8. Interruptor de encendido: enciende y apaga la máquina.
9. Mando de regulación del palpador: ajusta la altura del palpador.
10. Cepillo: utilizado para limar las imperfecciones resultantes del proceso.
11. Mango de avance del carro: dispositivo capaz de acercar o alejar a la llave en blanco a la fresa para dar forma a las muescas y obtener el duplicado.

1.2.2 DUPLICADO DE LLAVES MANUAL

El duplicado de llaves es la obtención de una llave capaz de operar una cerradura correctamente. El método más común es mediante el uso de la máquina duplicadora de llaves.

A continuación se lista los pasos a seguir para obtener un duplicado de una llave:

1. Introducir la llave original en la mordaza para el efecto, cuidando el borde de la misma.
2. Apretar la mordaza, manteniendo la llave debidamente apoyada sobre la base.
3. Introducir la llave en blanco en la mordaza respectiva y antes de apretarla elevar el calibre, alineando las llaves original y la en blanco.

4. Retirar el calibre.
5. Encender la máquina y desbloquear el carro.
6. Acercar las llaves hacia el palpador y a la fresa.
7. Apoyar la llave original contra el palpador con la ayuda del mango de avance y comenzar a trabajar, desplazando el carro de derecha a izquierda para dar forma al duplicado.
8. Terminado el duplicado de la llave, volver el carro a su posición inicial, aflojar las mordazas y retirar las llaves.
9. Utilizar el cepillo si es necesario para quitar las rebabas y así evitar que se atasquen dentro de la cerradura, impidiendo su correcto funcionamiento, incluso bloqueándola.

1.3 CONTROL NUMÉRICO

Un sistema de control numérico es capaz de dirigir el posicionamiento de un dispositivo mecánico móvil, mediante instrucciones que se interpretan como desplazamientos; éstas son elaboradas bien de forma manual o automática, en base a diagramas, planos o modelos que describen los requerimientos del componente que se debe obtener. [2]

1.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL CONTROL NUMÉRICO

Implementar un sistema de control numérico, puede presentar como ventajas las siguientes: [3]

Con relación al proceso:

- ✓ Mayor precisión en cada etapa del proceso.
- ✓ Aumento en la calidad de los componentes producidos.

- ✓ Consistencia en las características de los componentes producidos.
- ✓ Mayor flexibilidad durante un cambio en el diseño.
- ✓ Se requiere menos tiempo para adaptarse a un cambio en el proceso.

Con relación a la operación:

- ✓ Un operador puede controlar varias máquinas a la vez.
- ✓ Costo reducido en capacitación del operador.
- ✓ Se reduce la fatiga del operador.
- ✓ Mayor seguridad en la operación.

Sin embargo, se debe tomar en cuenta:

- ✓ Costo relativamente alto de implementación.
- ✓ El proceso depende en gran medida del sistema, en caso de falla, el proceso puede detenerse.
- ✓ Los costos de mantenimiento aumentan, ya que el sistema de control es más complicado y surge la necesidad de entrenar al personal de servicio.
- ✓ Se requiere cierto volumen de producción, para evitar subemplear los recursos disponibles.

1.3.2 EJES DE COORDENADAS

Dependiendo del tipo de máquina, la herramienta puede realizar ciertos movimientos los cuales pueden ser lineales (longitudinales, transversales) o circulares. Para controlar de forma precisa estos movimientos, todos los puntos dentro del área de trabajo de la máquina, deben estar bien definidos. [3]

Un sistema de coordenadas permite describir con precisión la posición de todos los puntos (vértices, centros de círculos, etc.) que forman parte del diseño de una pieza, proporcionando una orientación al programador durante la realización de los programas.

1.3.2.1 Sistemas de coordenadas de dos ejes

La forma más simple de un sistema de coordenadas, que se utiliza dentro de la programación de control numérico consiste en dos ejes ortogonales, con intersección en el origen del sistema.

1.3.2.2 Sistemas de coordenadas de tres ejes

Un sistema de coordenadas formado por tres ejes ortogonales, que se intersecan en el origen del sistema.

Dependerá de la aplicación, lo que cada dimensión represente, pero en general, el tercer eje, describe la profundidad del componente.

1.3.3 DESPLAZAMIENTOS

Para las operaciones de mecanizado que se efectúan en las piezas, las herramientas tienen que recorrer de forma precisa las trayectorias correspondientes a cada operación; para esto las trayectorias se descomponen en desplazamientos, lineales y circulares, los cuales se realizan coordinadamente.

1.3.3.1 Desplazamientos lineales

En un desplazamiento lineal, la herramienta sigue una trayectoria en línea recta, que se puede describir como una distancia y un ángulo o un desplazamiento lineal en cada uno de los ejes.

1.3.3.2 Desplazamientos circulares

La trayectoria de la herramienta describe un arco de circunferencia, que se puede definir por su centro, radio y el ángulo que encierra el arco.

1.4 ACTUADORES

Para automatizar un proceso, resulta necesario emplear actuadores, que permitan controlar los distintos componentes de la máquina, que faciliten la percepción del entorno de trabajo, y el resultado de los subprocesos que deban realizarse; además de un agente inteligente, que se encargue de coordinar la ejecución del proceso.

En este caso, la automatización del proceso de duplicar llaves, los actuadores se encargarán de provocar los desplazamientos de las herramientas que conforman la máquina.

Para operar la máquina se requiere realizar dos movimientos básicos, tomando como referencia la paleta de la llave.

- ✓ Desplazamiento longitudinal: Para ubicar la fresa a la altura donde debe hacerse las muescas.
- ✓ Desplazamiento transversal: Para acercar la paleta a la fresa y trazar las muescas con la profundidad adecuada.

Ya sea que se requiera generar un movimiento lineal, o rotatorio, se puede emplear un motor para generar el movimiento, y un sistema mecánico para transformar el movimiento, según lo que se necesite. Tomando esto en cuenta, para generar el movimiento se podrían utilizar: [4]

- ✓ Motor DC
- ✓ Motor paso a paso

Frente a los motores DC los motores paso a paso presentan las siguientes ventajas:

- ✓ Potencia constante.
- ✓ Torque alto, cuando está detenido.
- ✓ Circuito de control simple.

Son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos, por lo que se utilizará motores paso a paso, para generar los desplazamientos necesarios.

1.4.1 MOTORES PASO A PASO

Los motores paso a paso tienen la capacidad de girar moviéndose un paso a la vez. Según su construcción en cada paso pueden girar de 1.8° hasta 90° . Debido a su construcción, pueden permanecer fijos en una posición y en reposo presentan su torque máximo.

Existen cuatro tipos de motores paso a paso:

- ✓ De imán permanente: El rotor es un imán permanente, que se alinea con las bobinas en el estator.
- ✓ De reluctancia variable: El rotor es de hierro, se desplaza hasta ubicarse entre los polos magnéticos del estator, minimizando la reluctancia.
- ✓ Híbridos: Su funcionamiento se basa en la combinación de los dos tipos de motores a paso anteriores, de imán permanente y de reluctancia variable.
- ✓ Tipo Lavet: Está formado por una bobina en el estator con un rotor de imán permanente, tiene un tamaño muy reducido y se utilizan en aplicaciones de muy baja potencia, como es en relojes de muñeca.

Un motor de imán permanente puede ser:

- ✓ Unipolar
- ✓ Bipolar

1.4.1.1 Unipolar

El motor unipolar consta de dos bobinas, con toma central; por lo que dispondrá de 5 o 6 cables según si el común está unido internamente o no (ver Figura 1. 9).

Respecto a un motor bipolar de tamaño similar, este tipo de motores tiene un 70% del torque del primero.



Figura 1. 9 Motor Unipolar

➤ *Secuencias de control*

Al aplicar el nivel de voltaje nominal a los devanados del motor, el rotor gira, para obtener un movimiento continuo se debe activar los devanados en orden. A continuación se describe, las tres formas de controlar este tipo de motor.

Secuencia de paso simple: Consiste en activar una bobina a la vez como se indica en la Tabla 1. 1. Con esta secuencia de activación de bobinas no se obtiene el torque máximo ya que solo una bobina se activa cada vez la que arrastra y sujeta el rotor del eje del motor.

Tabla 1. 1 Secuencia de giro de paso simple.

PASO	TERMINALES			
	A	B	C	D
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

Secuencial de paso doble: consiste en activar las bobinas de dos en dos como se indica en la Tabla 1. 2, con lo que se forma un campo magnético más intenso.

Tabla 1. 2 Secuencia de paso doble.

PASO	TERMINALES			
	A	B	C	D
1	1	1	0	0
2	0	1	1	0
3	0	0	1	1
4	1	0	0	1

Secuencia de medio paso: Consiste en combinar los dos tipos de secuencias anteriores como se indica en la Tabla 1. 3, de este modo el rotor se ubica entre los dos devanados activados, haciendo mover al motor en pasos más pequeños y precisos, de esta manera se tiene el doble de pasos dentro del recorrido total de 360°.

Tabla 1. 3 Tabla de secuencia de medio paso.

PASO	TERMINALES			
	A	B	C	D
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

1.4.1.2 Bipolar

Este tipo de motor lleva dos bobinados independientes el uno del otro, posee generalmente 4 cables, para controlar este motor se necesita invertir la polaridad de cada una de las bobinas en la secuencia adecuada, para esto se puede emplear un circuito de control tipo puente.

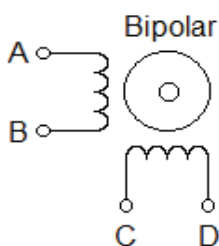


Figura 1. 10 Motor Bipolar

➤ *Secuencia de control*

Cada inversión de la polaridad provoca el movimiento del eje en un paso, cuyo sentido de giro está determinado por la secuencia seguida.

A continuación se puede ver en la Tabla 1. 4 la secuencia necesaria para controlar motores paso a paso del tipo bipolar.

Tabla 1. 4 Secuencia de giro de motor bipolar.

PASO	TERMINALES			
	A	B	C	D
1	1	0	1	0
2	1	0	0	1
3	0	1	0	1
4	0	1	1	0

1.5 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

El procesamiento digital de imágenes es una forma de procesamiento de señales, donde la señal de entrada es una fotografía, o un cuadro de video, y la salida puede ser una imagen o un conjunto de características relacionadas con la imagen de entrada.

El procesamiento digital de imágenes se puede utilizar con el objetivo de mejorar la calidad de una imagen, o extraer información.

1.5.1 REPRESENTACIÓN DIGITAL DE LA IMAGEN

Una imagen se representa como una función de dos variables, por ejemplo $I(X, Y)$, donde I es la intensidad de luz medida en una posición (X, Y) dentro de un sistema de coordenadas.

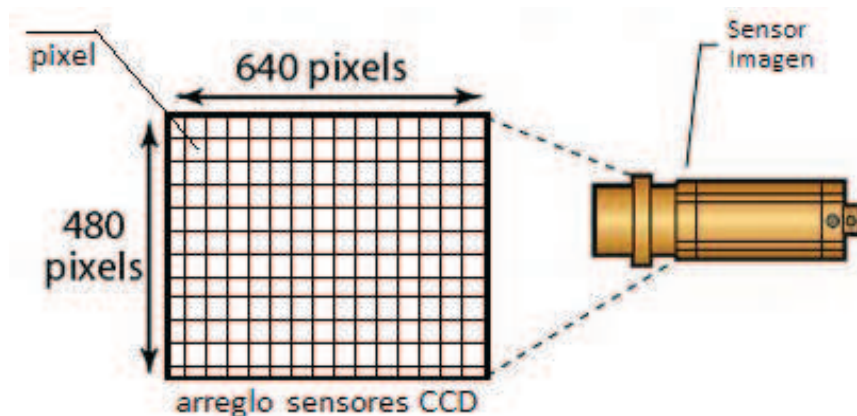


Figura 1. 11 Sensor de imagen

Como se observa en la Figura 1. 11, una cámara es un arreglo de sensores de luz, cada sensor determina la intensidad de luz en cierta posición, a esto se le denomina pixel.

1.5.1.1 Imagen monocromática

Los sensores fotoeléctricos, que se utilizan en las cámaras digitales, son capaces de medir la intensidad de luz que llega hasta el sensor, pero no la longitud de onda que determina el color.

De este modo las imágenes que se obtienen no contienen información de color, a este tipo de imágenes se les denomina monocromáticas. En este caso cada píxel puede representar un tono de gris.

Cada píxel se representa con un número de bits, esto limita la cantidad de tonos de gris que puede contener la imagen. Así en una imagen de 8 bits, se podrá tener 256 tonos de gris, incluyendo el negro y el blanco. Las imágenes digitales monocromáticas típicamente son de 8 bits, (ver Figura 1. 12).

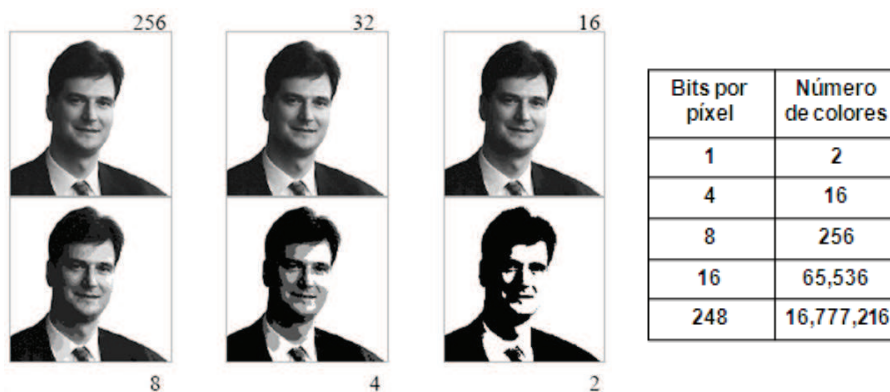


Figura 1. 12 Imagen monocromática

Si para representar cada píxel se utiliza un bit, entonces la imagen solo puede contener dos colores, el negro y el blanco; en este caso se trata de una imagen binaria.

1.5.1.2 Imagen a color

En el modelo RGB (Red, Green, Blue) se representa a los colores en función de la intensidad de los colores primarios (rojo verde y azul).

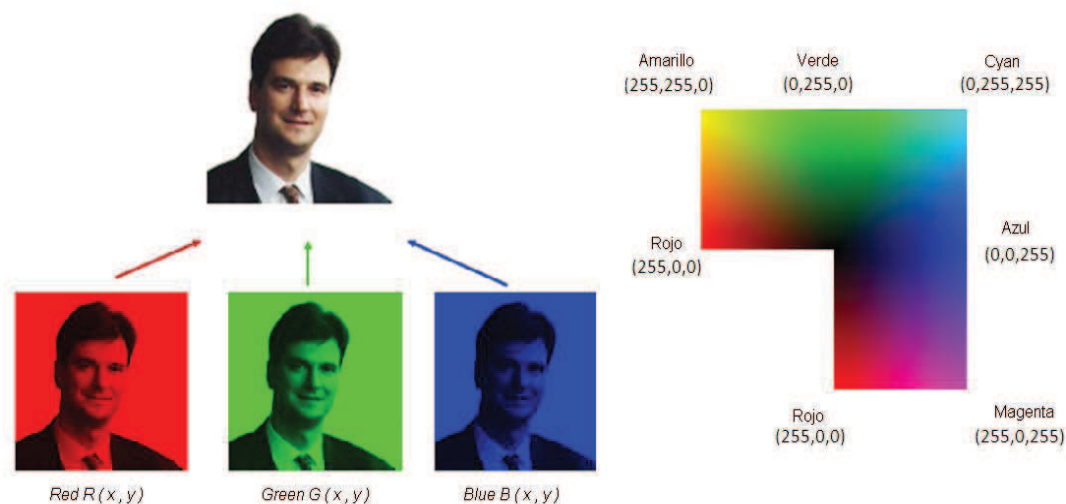


Figura 1. 13 Imagen RGB

Una imagen a color, se almacena como tres imágenes monocromáticas, cada una representa la intensidad de luz roja, verde y azul. Como se observa en la Figura 1. 13 , al superponer las tres imágenes, se percibe el color original.

Para capturar estas imágenes, se coloca un filtro sobre el sensor, de modo que solo la luz de cierta longitud onda (color rojo verde o azul) alcance el sensor.

1.5.2 PRE PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN

Luego de capturar una imagen, se puede aplicar uno o varios filtros para mejorar las características de la imagen, que se requieran para determinada aplicación.

Los principales objetivos que se persiguen con la aplicación de filtros son:

- ✓ Suavizar la imagen: reducir la cantidad de variaciones de intensidad entre píxeles vecinos.

- ✓ Eliminar ruido: eliminar aquellos píxeles cuyo nivel de intensidad es muy diferente al de sus vecinos y cuyo origen puede estar tanto en el proceso de adquisición de la imagen como en el de transmisión.
- ✓ Realzar bordes: destacar los bordes que se localizan en una imagen.
- ✓ Detectar bordes: detectar los píxeles donde se produce un cambio brusco, en la intensidad.

Por tanto, se consideran los filtros como operaciones que se aplican a los píxeles de una imagen digital para optimizarla, enfatizar cierta información o conseguir un efecto especial en ella.

1.5.3 SEGMENTACIÓN

La segmentación es el proceso de dividir una imagen digital en sus partes constituyentes, tanto para localizar objetos como para encontrar los límites de éstos, para su posterior reconocimiento y análisis.

Los algoritmos de segmentación se basan en una de estas dos propiedades básicas de los valores del nivel de gris: discontinuidad o similitud entre los niveles de gris de píxeles vecinos.

1.5.3.1 Discontinuidad.

Consiste en segmentar la imagen a partir de cambios grandes en los niveles de gris entre los píxeles. Esto se utiliza en:

- ✓ Detección de puntos:
- ✓ Detección de líneas
- ✓ Detección de bordes

1.5.3.2 Similitud.

Es lo contrario al método anterior, las divisiones de la imagen se hacen agrupando píxeles que tienen características similares.

Esto se puede utilizar para diferenciar objetos dentro de una imagen, o separar un objeto del fondo de la imagen.

1.5.3.3 Método del Valor Umbral

El método del valor umbral se utiliza para separar los objetos de interés de una imagen del fondo de la misma. Los píxeles que conforman los objetos buscados se encuentran mediante la comparación de su nivel de gris con un valor umbral.

Con este método se obtiene una imagen binaria a partir de una imagen monocromática, donde los píxeles que tienen una intensidad mayor al valor umbral, se consideran parte del objeto y se pintan de negro, mientras que los otros se pintan de blanco.



Figura 1. 14 Método de Umbral

CAPÍTULO 2

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

2.1 CONSTRUCCIÓN MECÁNICA

En la Figura 2. 1 se muestra una máquina duplicadora de llaves manual MODERSJZ-2B; Dimensiones: 58.42 cm L x 30.48 cm W x 30.48 cm H, Peso: 10.2 kg, Voltaje: 110 V, Potencia Motor: 120 W, 1.3 A.

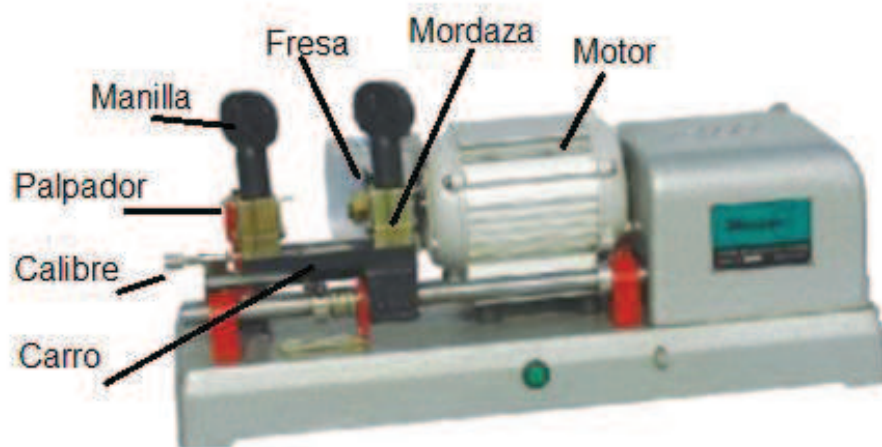


Figura 2. 1 MODERSJZ-2B

El desplazamiento en el eje X está dado por el carro permitiendo el recorrido de la paleta de la llave sobre la fresa, mientras que el desplazamiento en el eje Y está dado por el palpador permitiendo el avance de la paleta de la llave contra la fresa, como se muestra en la Figura 2. 2.

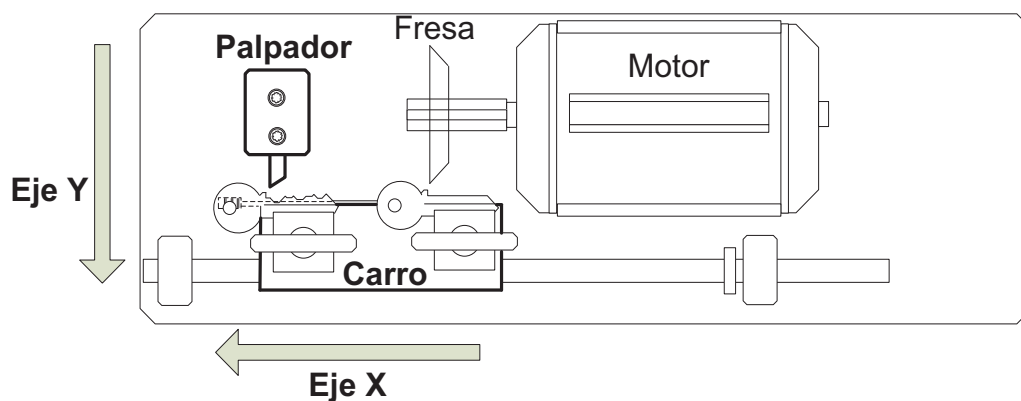


Figura 2. 2 Esquema de máquina duplicadora manual

Se requiere construir dos sistemas mecánicos móviles capaces de desplazar la llave en blanco en los ejes (X, Y). De tal manera que combinando los movimientos en los ejes mencionados por medio de un control realizado desde un ordenador, se obtenga la forma de la llave deseada producto del desbaste que realiza la fresa.

Para efectuar los movimientos en los ejes es necesaria la utilización de dos motores paso a paso, cada uno con su respectivo sistema mecánico para lograr el movimiento lineal deseado en cada eje.

2.1.1 MÁQUINA MODIFICADA

En la Figura 2. 3 se puede observar la máquina modificada, luego de las adaptaciones realizadas.

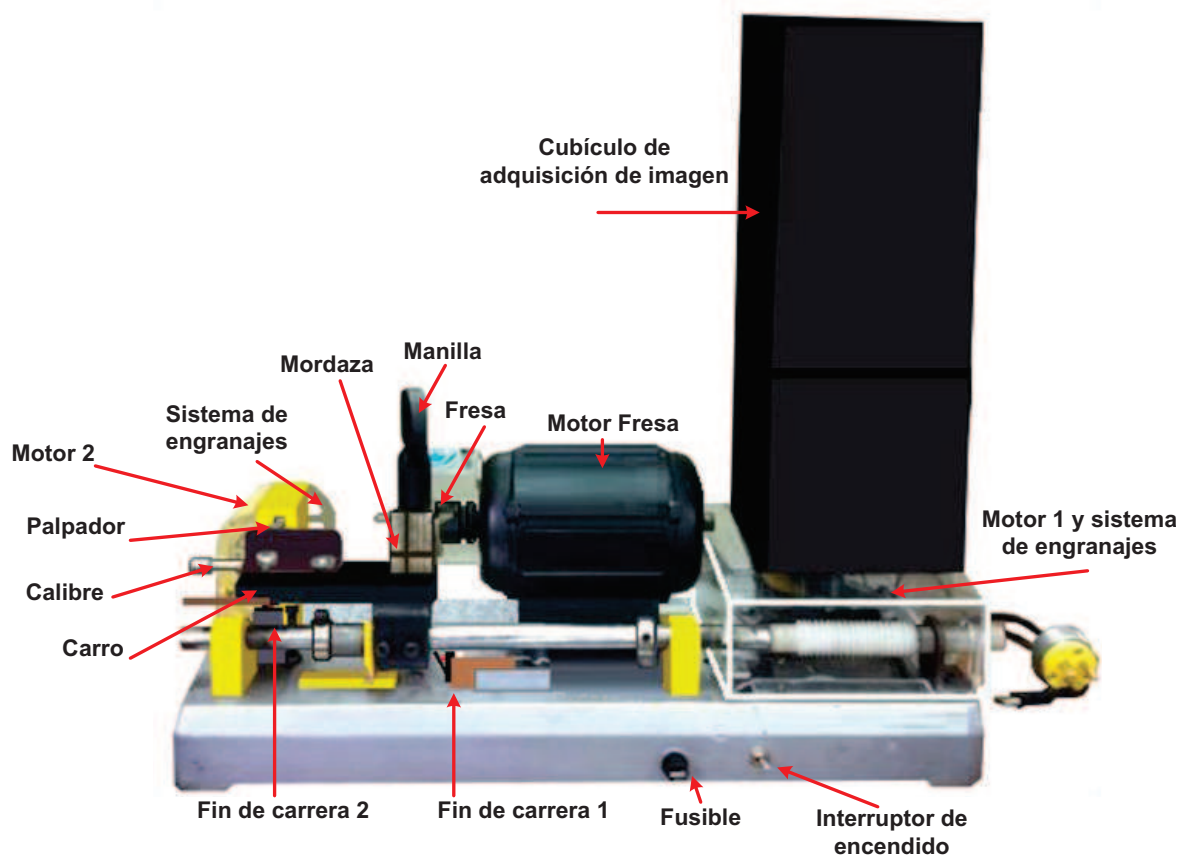


Figura 2.3 Máquina modificada

2.1.2 MOVIMIENTO EJE X

El movimiento en el eje X, controla el recorrido de la paleta de la llave sobre la fresa, para ello es necesario controlar el movimiento del carro de la máquina duplicadora.

Para conseguir el movimiento en el eje X, se ha instalado una cremallera circular acoplada con un sistema de engranajes a un motor paso a paso unipolar como se observa en la Figura 2. 4.

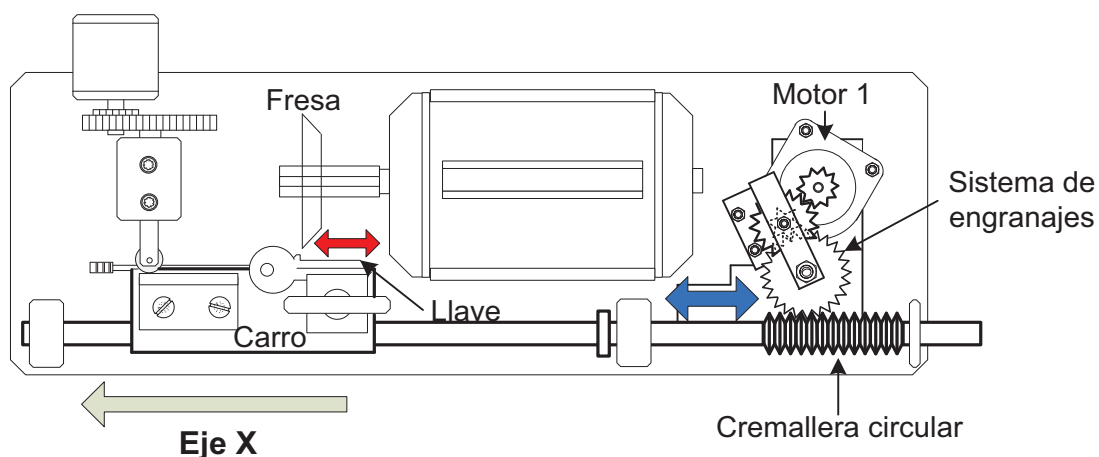


Figura 2. 4 Máquina duplicadora modificada, eje X

El sistema de engranajes utilizado es un tren de engranajes compuesto, como se muestra en la Figura 2. 5, el mismo que consta de un engranaje motriz (A) que está acoplado al motor paso a paso (Motor 1), un engranaje doble (B, C) que aumenta o disminuye la ventaja mecánica (factor de transmisión) y un engranaje seguidor (D) que se engrana a la cremallera circular (E), con el fin de convertir el movimiento circular del motor paso a paso en un movimiento lineal del carro sobre el eje X, que permite controlar el recorrido de la paleta de la llave sobre la fresa [5].

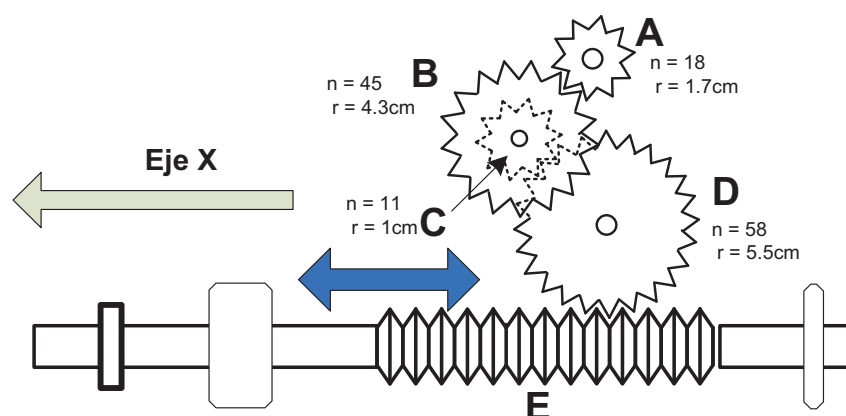


Figura 2. 5 Sistema mecánico del eje X

En cualquier sistema de engranajes, la velocidad del eje impulsado depende del número de dientes de cada engranaje. Para calcular la relación de transmisión, o ventaja mecánica, de un tren de engranaje simple, se usa la siguiente ecuación:

$$\text{Relación de transmisión (i)} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de dientes del engranaje arrastrado}}{\text{n}^\circ \text{ de dientes del engranaje motriz}} \quad [5]$$

Como se ve en la Figura 2. 5, los engranajes B, C comparten el mismo eje lo que quiere decir que el número de vueltas que gire B será igual a las que gire C en el mismo sentido. El engranaje D hace de seguidor ya que el número de dientes que le arrastre el engranaje C a D, será el mismo número de dientes arrastrados de la cremallera circular.

$$i = \frac{\text{n}^\circ \text{ de B}}{\text{n}^\circ \text{ de A}}$$

$$i = \frac{45}{18} = 2.5$$

La relación de velocidad, desplazamiento entre engranajes es proporcional, mientras que la relación de torque es inversamente proporcional, siendo (i) el factor de proporcionalidad.

Para mover el carro se requiere una fuerza aproximada de 19.6 N (ver Anexo 3), por lo que es necesario disponer de un motor que permita al sistema mecánico generar una fuerza mayor a la requerida, de modo que se pueda mover al carro de forma adecuada.

El torque que necesita el engranaje C es:

$$T_C = F * r_C$$

$$T_C = 19.6\text{N} * 0.005\text{m} = 0.098\text{N} * \text{m}$$

El toque transferido al engranaje A es:

$$T_A = \frac{T_C}{i}$$

$$T_A = \frac{0.098\text{N} \cdot \text{m}}{2.5} = 0.039\text{N} \cdot \text{m}$$

Entonces se necesita un motor paso a paso de $T_{\text{MOTOR}} > 0.039\text{N} \cdot \text{m}$.

En el mercado se encontró un motor paso a paso unipolar SANYO Denki Step Syn 103g 770-2519 como se observa en la Figura 2. 6, que tiene las siguientes características:

- ✓ DC = 4.1 V, 1.1 A
- ✓ 1.8° /Step, 200 Steps
- ✓ 0.067 N *m Holding Torque, 4.51 W



Figura 2. 6 SANYO Denki Step Syn 103g770-2519

2.1.3 MOVIMIENTO EJE Y

El movimiento en el eje Y controla el avance de la paleta de la llave contra la fresa, para ello es necesario controlar el movimiento del palpador de la máquina duplicadora.

Para conseguir el movimiento en el eje Y, se ha instalado un palpador con cremallera y punta de rueda, el palpador lo mueve un tornillo sin fin acoplado con un sistema de engranajes a un motor paso a paso unipolar.

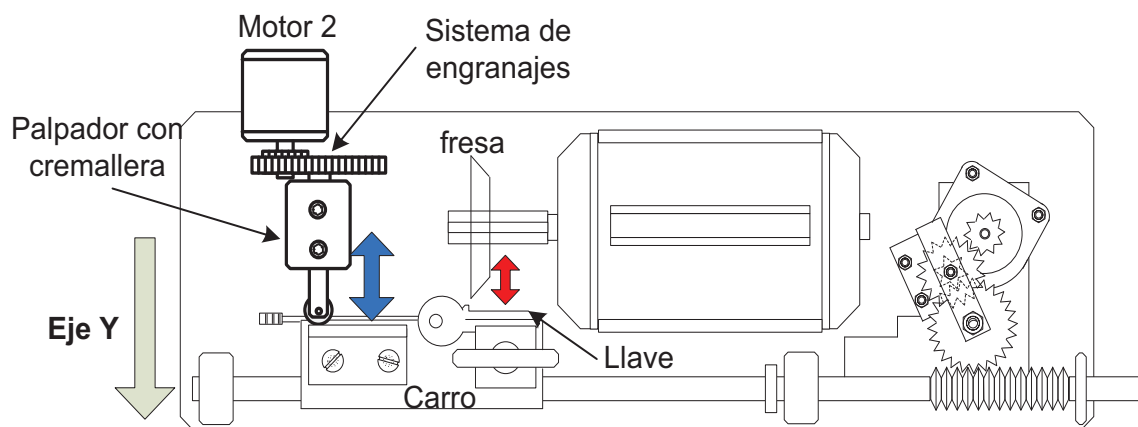


Figura 2.7 Máquina duplicadora modificada, eje Y

El sistema de engranajes utilizado, es un tren de engranajes simple el mismo que consta de un engranaje motriz (B) que está acoplado al motor paso a paso (Motor 2), un engranaje arrastrado (A) que tiene como eje un tornillo sin fin (C) que mueve al palpador con cremallera (D) convirtiendo el movimiento circular del motor paso a paso en un movimiento lineal del palpador sobre el eje Y, que permite controlar el avance de la paleta de la llave contra la fresa [5].

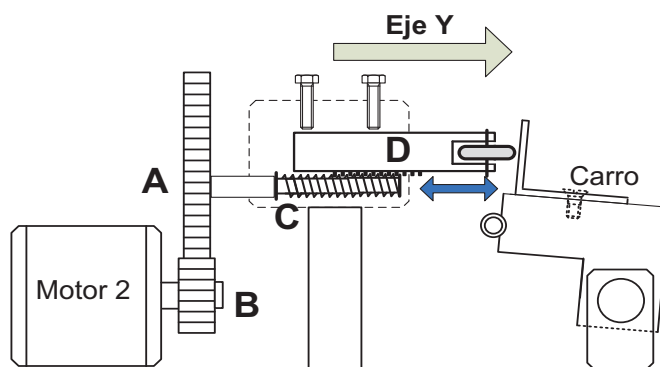


Figura 2.8 Sistema mecánico eje Y

Entonces la relación de transformación es:

$$i = \frac{n^{\circ} \text{ de A}}{n^{\circ} \text{ de B}}$$

$$i = \frac{100}{40} = 2.5$$

Para mover el palpador que controla la profundidad de corte, se requiere una fuerza aproximada de 14.7 N (ver Anexo 3), por lo que es necesario disponer de un motor que permita al sistema mecánico generar una fuerza mayor a la requerida, de modo que se pueda mover al carro de forma adecuada.

El torque que necesita el engranaje A es:

$$T_A = F * r_A$$

$$T_A = 14.7\text{N} * 0.005\text{m} = 0.074\text{N} * \text{m}$$

El toque transferido al engranaje B es:

$$T_B = \frac{T_A}{i}$$

$$T_B = \frac{0.074\text{N} * \text{m}}{2.5} = 0.03\text{N} * \text{m}$$

Entonces se necesita un motor paso a paso de $T_{\text{MOTOR}} > 0.03\text{N} * \text{m}$.

En el mercado se encontró un motor paso a paso unipolar SANYO Denki Step Syn 103g 770-2519 como se observa en la Figura 2. 9, que tiene las siguientes características:

- ✓ DC = 4.1 V, 1.1 A
- ✓ 1.8° /Step, 200 Steps
- ✓ 0.067 N *m Holding Torque, 4.51 W



Figura 2. 9 SANYO Denki Step Syn 103g770-2519

2.1.4 FIN DE CARRERA

Para la limitación de los extremos del sistema mecánico de movimiento, es necesaria la utilización de un fin de carrera por cada eje (X, Y), lo que permite ubicar el carro de la máquina en una posición conocida antes de empezar con el proceso de duplicado de llaves.

Debido al espacio reducido, es necesario que el fin de carrera sea pequeño por lo que se utilizará un micro interruptor como el de la Figura 2. 10, que cuenta con tres contactos uno normalmente abierto, uno común y uno normalmente cerrado.

Al presionar el accionamiento, los contactos normalmente abierto y normalmente cerrado cambian de estado.

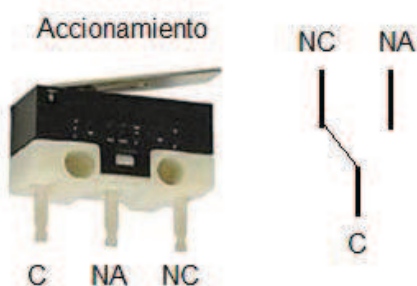


Figura 2. 10 Micro interruptor

2.1.5 CUBÍCULO DE ADQUISICIÓN DE IMAGEN

El duplicado de llaves requiere adquirir una imagen de la llave que se desea duplicar, para extraer todos los parámetros necesarios de la llave para continuar con el proceso de duplicado.

La iluminación es un factor importante a la hora de la adquisición de la imagen, de este modo se ha construido un cubículo de adquisición de imagen como se muestra en la Figura 2. 10, el cual es un cuarto cerrado que tiene una lámpara en contra luz a una webcam, que permite adquirir una imagen de la llave a duplicar sobre una plantilla de calibración, siempre con el mismo nivel de iluminación y con un alto contraste.



Figura 2.9 Cubículo de adquisición de imagen

En la plantilla de calibración se ubica la llave a duplicar para adquirir la imagen como se muestra en la Figura 2. 11.b. Esto permite determinar las dimensiones de la llave, lo que se requiere para el proceso de duplicado.

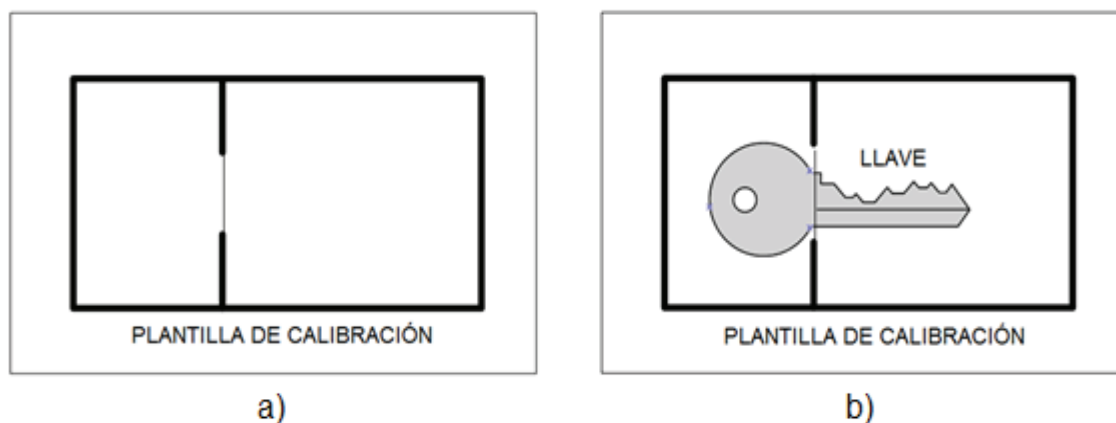


Figura 2. 11 a) Plantilla de calibración
b) Plantilla de calibración con llave a duplicar

2.1.5.1 Iluminación

Para la iluminación es necesario de una lámpara que entregue un buen flujo luminoso y uniforme para que no existan puntos oscuros a la hora de adquirir la imagen.

De acuerdo con esos requerimientos se ha conseguido en el mercado una Luz de salón Super Bright ZW-6112 18 LED como se indica en la Figura 2. 12.

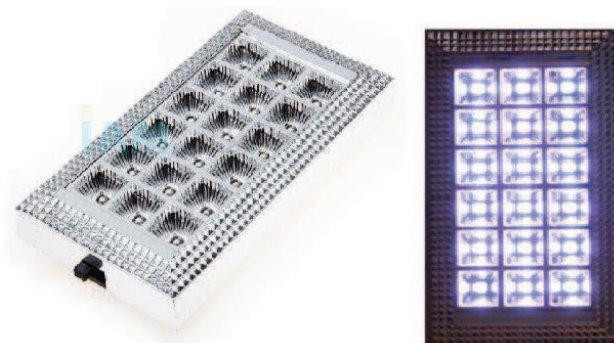


Figura 2. 12 Luz de salón Super Bright ZW-6112 18 LED

Características:

- ✓ Color de Luz: Blanco
- ✓ Potencia: 3 W, 250 mA
- ✓ Voltaje: DC 12 V
- ✓ Flujo Luminoso (lm): 150-200
- ✓ Vida útil (h): > 30000

2.1.5.2 Webcam

Para la adquisición de la imagen es necesario de una cámara para capturar la imagen, ésta debe ser de fácil conexión y de tamaño reducido capaz de capturar una imagen con un buen enfoque y resolución para poder distinguir de buena manera todos los rasgos del contorno de la llave.

De acuerdo con esos requerimientos se ha conseguido en el mercado una webcam Genius iSlim 300X como se indica en la Figura 2. 13.



Figura 2. 13 Webcam Genius iSlim 300X

Características:

- ✓ Sensor VGA de alta calidad, reduce el ruido de la imagen estática.
- ✓ Resolución imagen fija: 640 x 480, 352 x 288, 320 x 240, 176 x 144, 160 x 120 pixeles.
- ✓ Lente de enfoque manual
- ✓ Formato de archivo JPEG / WMV
- ✓ Angulo de visión arriba y abajo: 100°
- ✓ Velocidad de imagen de hasta 30 cuadros por segundo (fps)

2.1.5.3 Máquina Duplicadora Terminada

En la Figura 2. 14 se observa la máquina después de realizar las adaptaciones

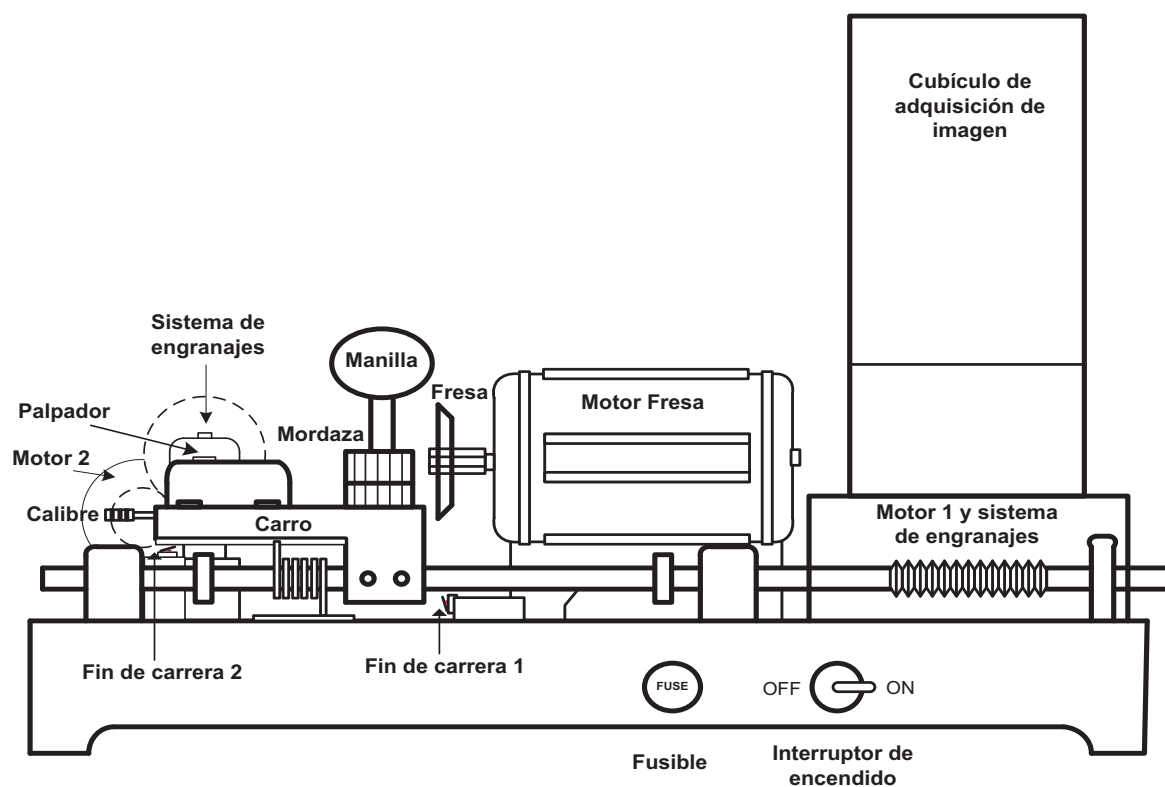


Figura 2. 14 Partes de la máquina

2.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

En la Figura 2. 15 se muestra la arquitectura de control, donde constan las diferentes partes del sistema de control implementado, a partir del cual se ha realizado el diseño eléctrico y electrónico.

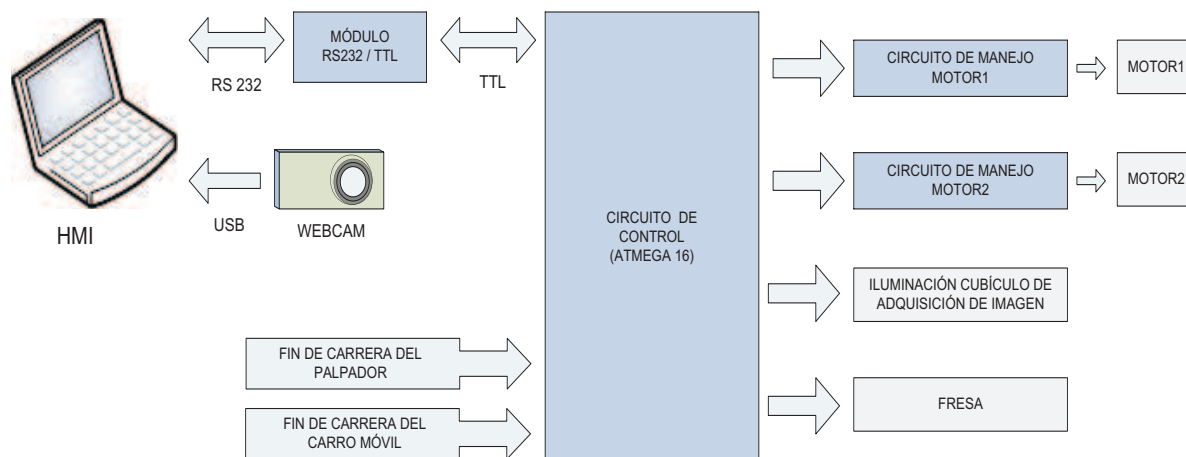


Figura 2. 15 Arquitectura de control

2.2.1 CIRCUITO DE CONTROL

El circuito de control es el encargado del procesamiento del sistema, es decir realiza el análisis de las instrucciones de control provenientes del computador por medio de una comunicación serial, tomando en cuenta las señales de entrada de los sensores de fin de carrera, para ejecutar las acciones de control que comandan el correcto funcionamiento de los componentes de la máquina duplicadora.

El micro controlador es el elemento principal del circuito de control, encargado del procesamiento de los datos y de la ejecución de las acciones de control.

En la Figura 2. 16, se presenta la distribución de pines del micro controlador ATmega16.

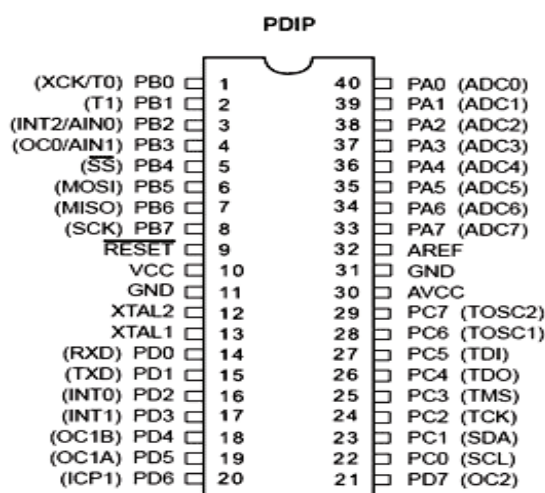


Figura 2. 16 Distribución de pines del ATmega16

A continuación se indican las principales características del micro controlador ATmega16 [6]:

- ✓ Micro controlador de 8 Bits de alto rendimiento y bajo consumo
- ✓ Arquitectura RISC de 131 instrucciones (ejecutadas en un solo ciclo de reloj)
- ✓ 16 Kbytes de FLASH auto programable en sistema
- ✓ 156 Bytes en memoria no volátil EEPROM
- ✓ 1 Kbytes en memoria interna SRAM
- ✓ Polarización de 2.7 V a 5.5 V

El micro controlador consta de los siguientes periféricos:

- ✓ Dos Timer/Contadores de 8 Bits con pre-escalamiento separado y modo de comparación
- ✓ Un Timer/Contador de 16 Bits con pre-escalamiento separado, modo de comparación y modo de captura
- ✓ Contador en Tiempo real con Oscilador separado

- ✓ 6 Canales para PWM
- ✓ ADC de 10 Bits y 8 canales
- ✓ Modo diferencial con ganancia seleccionable a x1, x10 o x200
- ✓ Interfaz Serial de dos hilos con Byte orientado
- ✓ Dos Puestos Seriales USART programables
- ✓ Interfaz Serial SPI Maestro-Esclavo
- ✓ Watchdog Timer programable con oscilador independiente, en el chip
- ✓ Comparador Analógico

La Tabla 2. 1 contiene una descripción de los recursos utilizados del micro controlador para realizar el control.

Tabla 2. 1 Recursos utilizados del ATmega16

PIN	E/S	A/D	DESCRIPCIÓN
PA0	Salida	Digital	Bobina A (Circuito de manejo Motor 2)
PA1	Salida	Digital	Bobina C (Circuito de manejo Motor 2)
PA2	Salida	Digital	Bobina B (Circuito de manejo Motor 2)
PA3	Salida	Digital	Bobina D (Circuito de manejo Motor 2)
PA4	Salida	Digital	Bobina A (Circuito de manejo Motor 1)
PA5	Salida	Digital	Bobina C (Circuito de manejo Motor 1)
PA6	Salida	Digital	Bobina B (Circuito de manejo Motor 1)
PA7	Salida	Digital	Bobina D (Circuito de manejo Motor 1)
PB0	Salida	Digital	Relé Fresa
PB1	Salida	Digital	Relé Iluminación cubículo de adquisición de imagen
PC0	Entrada	Digital	Sensor de fin de carrera del palpador
PC1	Entrada	Digital	Sensor de fin de carrera del carro
PD0	Entrada	Digital	RXD
PD1	Salida	Digital	TXD

A continuación se explica el diseño de los circuitos implementados; todas las resistencias son de 0.25 W, a menos que se indique otro valor.

2.2.1.1 Diseño circuito de control

Para el control ON-OFF tanto de la fresa como de la iluminación del cubículo de adquisición de la imagen, se empleó dos relés los mismos que son activados por medio de dos transistores respectivamente.

La corriente de arranque del motor que mueve la fresa que especifica el fabricante es de $I_A = 5A$, por lo que se escoge un relé que soporte una corriente mayor. En el mercado se encontró el relé QUIANJIJQC-3FT73 (RL1), según la hoja de datos, maneja una corriente de $I = 10A$ (125VAC), un voltaje de excitación de la bobina de $V_{BOBINA} = 5VDC$ y una resistencia de $R_{BOBINA} = 80 \pm 10\% \Omega$ [7].

$$I_{Bobina} = \frac{V_{CC}}{R_{BOBINA}}$$

$$I_{BOBINA} = \frac{5V}{70\Omega} = 71mA$$

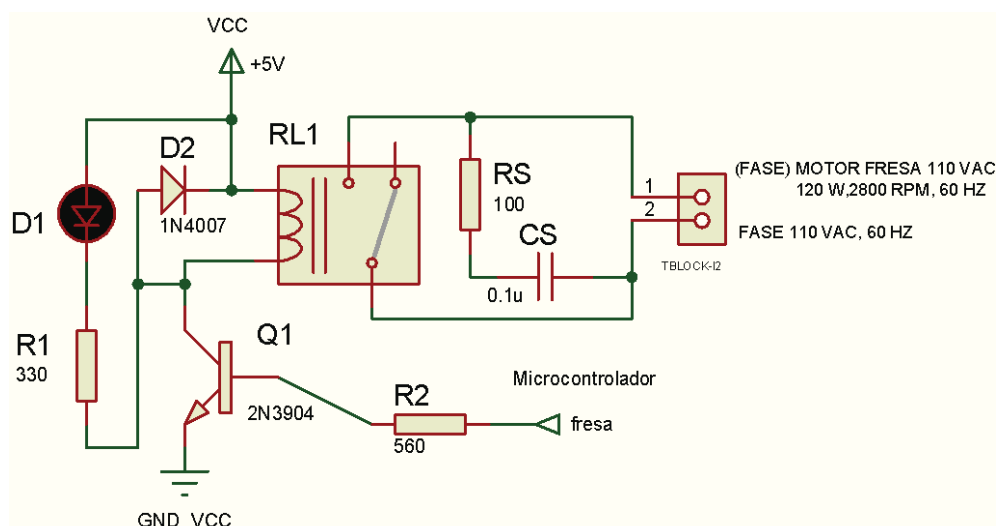


Figura 2. 17 Relé Fresa

Se coloca un diodo Led (D1), como luz piloto que indica si la bobina del relé está excitada y por ende la fresa está encendida como se indica en la Figura 2. 17.

Para un Led verde la caída de tensión es $V_F = 1.6V$ y una corriente media de $I_F = 10mA$.

Se asume una corriente $I_F = 10mA$ entonces:

$$R_{LED} = R_1 = \frac{V_{CC} - V_F}{I_F}$$

$$R_1 = \frac{5V - 1.6V}{10mA} = 340\Omega$$

Escogiendo un valor estándar: $R_1 = 330\Omega$

$$I_F = \frac{V_{CC} - V_F}{R_1}$$

$$I_F = \frac{5V - 1.6V}{330\Omega} = 10.3mA$$

Para la excitación de la bobina del relé y el encendido de la luz piloto, se ha seleccionado al transistor 2N3904 (Q1), que maneja una corriente de colector $I_C = 100mA$ ($I_B = \frac{I_C}{10}$), cuando trabaja en la zona de saturación, mientras que;

$V_{CE(SAT)} = 0.2V$ y $V_{BE(SAT)} = 0.65V$ [8].

Se tiene que la corriente de colector es $I_C = I_{BOBINA} + I_F$ entonces:

$$I_C = I_{BOBINA} + I_F$$

$$I_C = 71mA + 10.3mA = 81.3mA$$

Como $I_B = \frac{I_C}{10}$ entonces:

$$I_B = \frac{81.3\text{mA}}{10} = 8.1\text{mA}$$

$$R_2 = \frac{V_{CC} - V_{BE(SAT)}}{I_B}$$

$$R_2 = \frac{5\text{V} - 0.65\text{V}}{8.1\text{mA}} = 537\Omega$$

Escogiendo un valor estándar: $R_2 = 560\Omega$

Para la desconexión del motor por parte del relé, al ser el motor una carga inductiva, se utiliza una red snubber RC (R_s , C_s) de apagado, como se muestra en la Figura 2. 17, la cual limita la variación brusca de tensión que se genera. El valor típico de la red RC es: $R_s = 100\Omega$ y $C_s = 0.1\mu\text{F}$, $Z_s = 26.5\text{k}\Omega$ [9].

Para el encendido de la iluminación del cubículo de adquisición de imagen se utiliza un relé, la iluminación se realiza con una luz de salón de vehículo la misma que trabaja con un voltaje de $V_l = 12\text{V}$ y una corriente de $I_l = 250\text{mA}$ como especifica el fabricante.

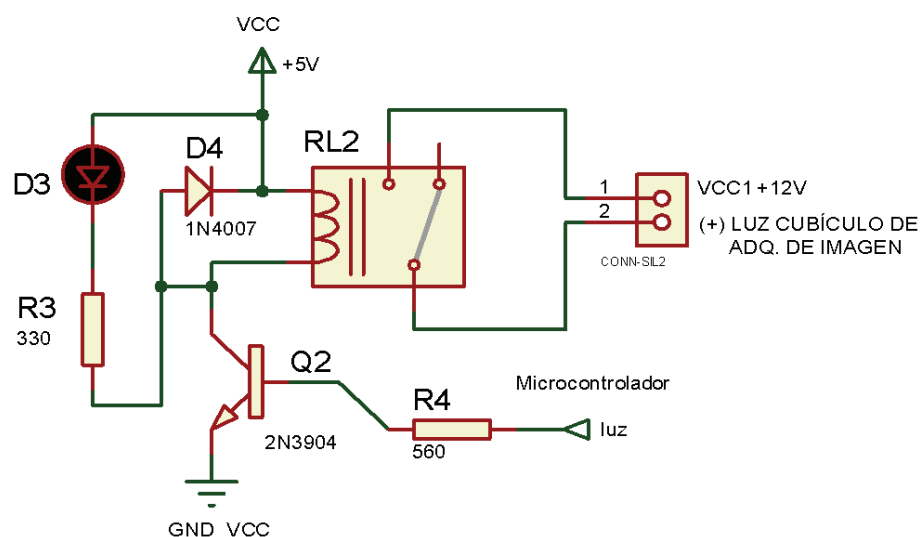


Figura 2. 18 Relé Iluminación cubículo de adquisición de imagen

Como en el diseño anterior, se utiliza un relé QUIANJIJQC-3FT73 (RL2) y para la excitación de la bobina del relé se utiliza un transistor 2N3904 (Q2).

$$I_C = I_{\text{BOBINA}} + I_F$$

$$I_C = 71\text{mA} + 10.3\text{mA} = 81.3\text{mA}$$

Como $I_B = \frac{I_C}{10}$ entonces:

$$I_B = \frac{81.3\text{mA}}{10} = 8.1\text{mA}$$

$$R_4 = \frac{V_{CC} - V_{\text{BE(SAT)}}}{I_B}$$

$$R_4 = \frac{5\text{V} - 0.65\text{V}}{8.1\text{mA}} = 537\Omega$$

Escogiendo un valor estándar: $R_4 = 560\Omega$

En la Figura 2. 19 se muestra el circuito de control que consta de salidas para el control de los motores paso a paso, relé de la fresa, relé de iluminación del cubículo de adquisición de imagen, sensor de fin de carrera del carro, sensor de fin de carrera del palpador, comunicación serial , reset del micro controlador.

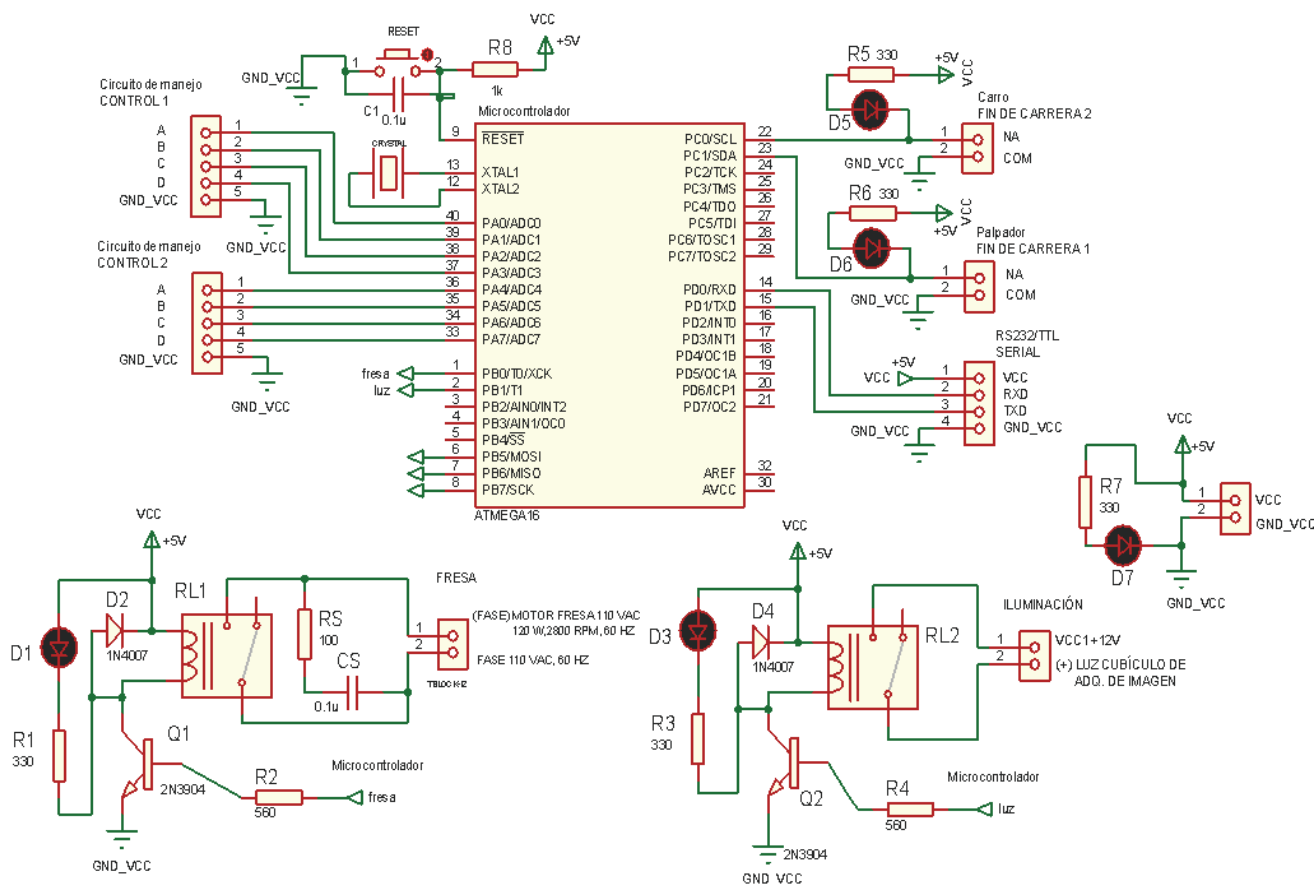


Figura 2. 19 Circuito de control

2.2.1.2 Circuito de comunicación RS232/TTL

La comunicación serial entre dispositivos, se basa en el intercambio de información mediante líneas de transmisión y recepción.

Uno de los circuitos integrados que ayudan a realizar la comunicación serial entre un computador y un micro controlador es el MAX232, el cual es un convertor de nivel RS232 a TTL y viceversa. En la Figura 2. 20 se muestra la distribución de pines del MAX232 [10].

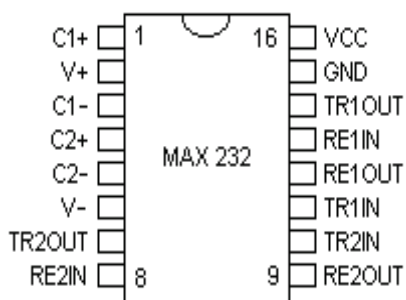


Figura 2. 20 Distribución de pines del MAX232

La Figura 2. 21 muestra el circuito de comunicación serial siguiendo las recomendaciones del fabricante del MAX232 [10].

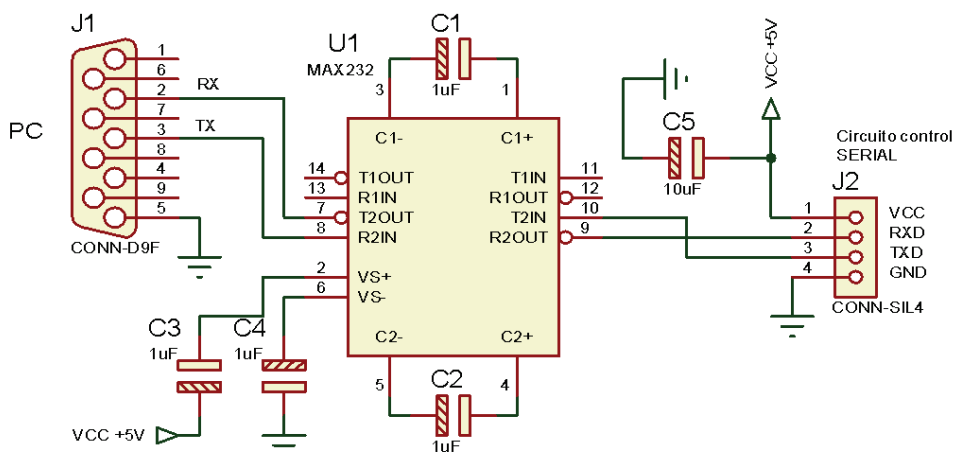


Figura 2. 21 Circuito comunicación serial RS232/TTL

2.2.2 MANEJO DE MOTORES PASO A PASO UNIPOLAR

Para efectuar los movimientos cartesianos, tanto del carro como del palpador de la máquina duplicadora, se cuenta con dos motores paso a paso unipolares, los cuales requieren de la activación de forma secuencial de cada una de sus bobinas para obtener los movimientos requeridos.

La secuencia de activación de las bobinas de los motores se genera luego de enviar una instrucción, que es procesada por el circuito de control, generando la

secuencia de activación de las bobinas (ver Tabla 1. 3); la misma que llega a cada motor a través de un circuito de manejo.

2.2.2.1 Diseño circuito de manejo de motor paso a paso unipolar

Este circuito cumple la función de amplificar las señales provenientes del circuito de control (secuencia de activación de las bobinas), que comandan un motor paso a paso unipolar, aislando la parte de control de la de potencia.

Una de las maneras más comunes de aislar las señales control de las de potencia es mediante el uso de opto acopladores, por esta razón se utilizará cuatro opto transistores 4N25 (U1, U2, U3, U4) para la activación de los mosfet correspondientes a la parte de potencia como se observa en la Figura 2. 23.

La corriente máxima que va a manejar la parte de potencia es de 1.1 A, de manera que se seleccionan mosfet que soporten una cantidad mayor de corriente. En el mercado se encontraron mosfet IRF520FI (Q2, Q4, Q6, Q8) que manejan una corriente máxima recomendada por el fabricante de $I_D = 5A$ [11].

En la Figura 2. 22 se observa la distribución de pines y el modo de conexión del 4N25, que está conformado por un diodo y un fototransistor.

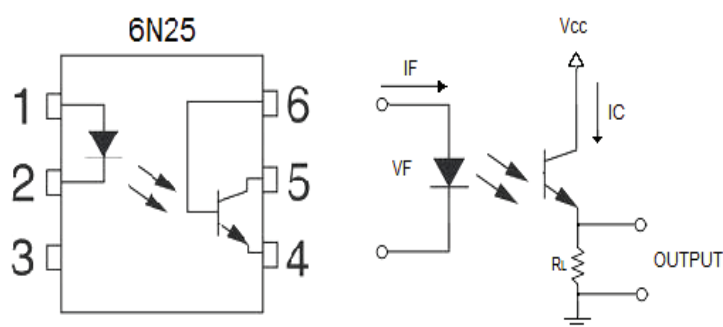


Figura 2. 22 Opto transistor 4N25

De acuerdo con la hoja de datos del 4N25 se tiene [12]:

Voltaje típico de entrada $V_F = 1.15$ para una corriente de entrada de $I_F = 10\text{mA}$, voltaje colector emisor de saturación típico $V_{CE(\text{sat})} = 0.5\text{V}$ y una relación de transferencia de corriente de $\text{CTR} = 0.2$ sabiendo que $I_C = \text{CTR} * I_F$.

Se asume una corriente de entrada de $I_F = 10\text{mA}$, entonces:

$$R_5 = \frac{V_{CC} - V_F}{I_F}$$

$$R_5 = \frac{5\text{V} - 1.15\text{V}}{10\text{mA}} = 385\Omega$$

Escogiendo un valor estándar: $R_5 = R_6 = R_7 = R_8 = 390\Omega$

$$I_F = \frac{V_{CC} - V_F}{R_1}$$

$$I_F = \frac{5\text{V} - 1.15\text{V}}{390} = 9.87\text{mA}$$

Para que el fototransistor esté saturado se debe cumplir con la siguiente condición:

$$I_C < \text{CTR} * I_F = 0.2 * I_F$$

Entonces se tiene:

$$I_C < 0.2 * I_F$$

$$I_C < 0.2 * 9.87\text{mA} = 1.97\text{mA}$$

$$I_C = \frac{V_{CC1} - V_{CE(\text{sat})}}{R_1} < 1.97\text{mA}$$

$$\frac{V_{CC1} - V_{CE(\text{sat})}}{1.97\text{mA}} < R_1$$

$$R_1 > \frac{12V - 0.15V}{1.97mA} = 6.02K\Omega$$

Escogiendo un valor estándar: $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 6.8k\Omega$

$$I_C = \frac{V_{CC1} - V_{CE(sat)}}{R_1}$$

$$I_C = \frac{12V - 0.15V}{6.8k\Omega} = 1.74mA$$

En la Figura 2. 23 se muestra el circuito completo encargado del manejo de motores paso a paso.

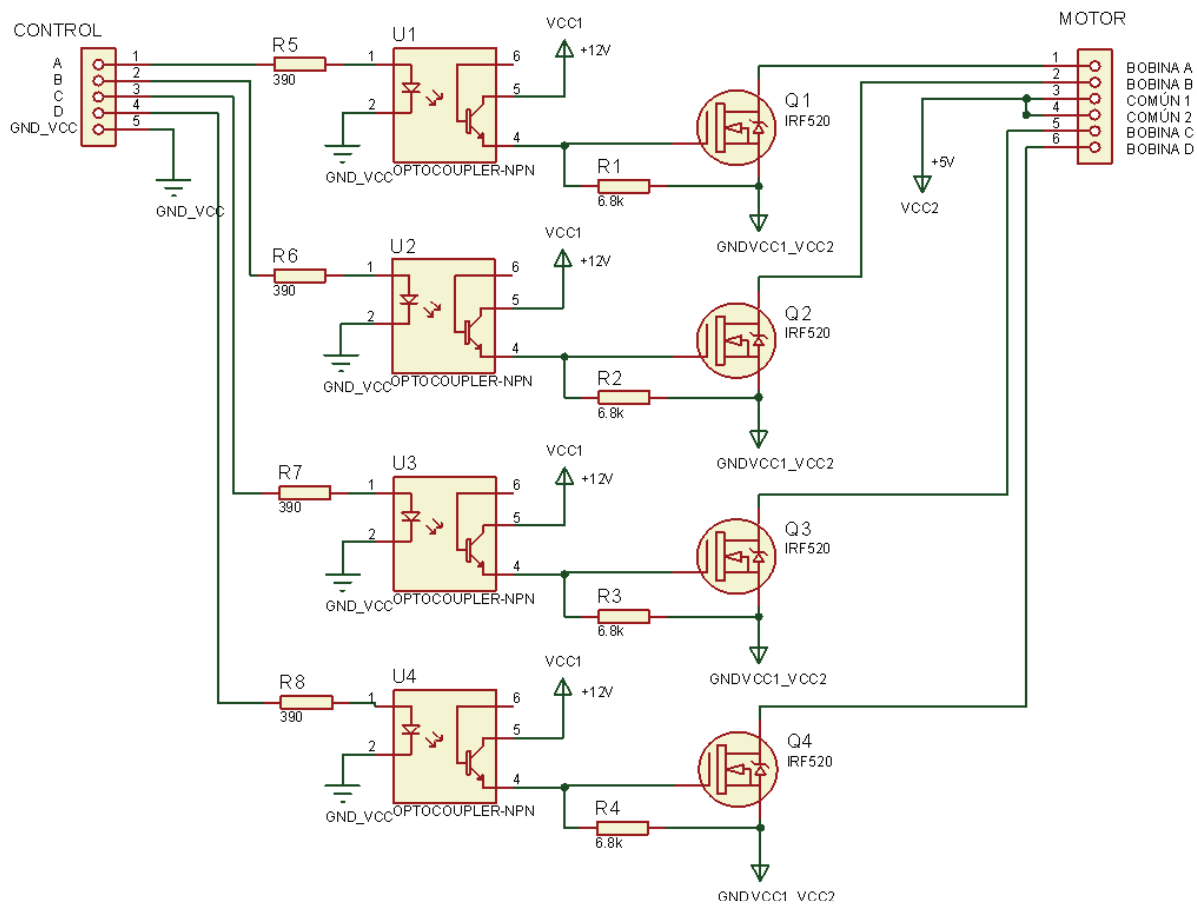


Figura 2. 23 Circuito manejo motor paso a paso unipolar

2.2.3 FUENTES

Para la aplicación se ha visto necesarias tres fuentes de corriente continua como se muestra en la Figura 2. 24. Una fuente de +5 V para el circuito de control y de comunicación RS232, una de +12 V para los circuitos de manejo de motor paso a paso, como también para la iluminación del cubículo de adquisición de imagen y otra fuente de +5 V para la parte de potencia de los circuitos de manejo de motores paso a paso.

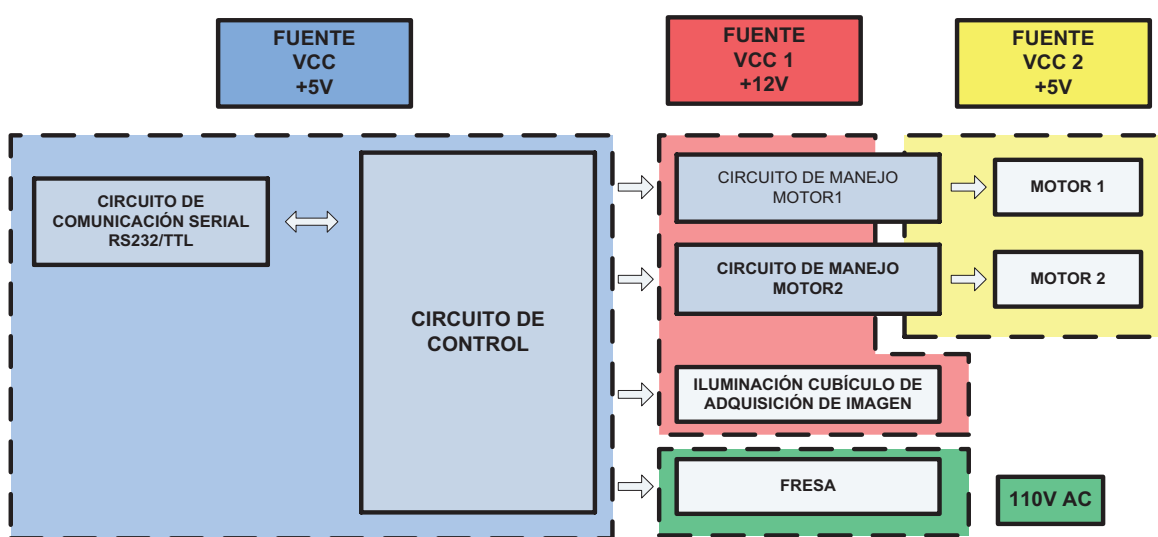


Figura 2. 24 Fuentes de energía

2.2.3.1 Fuente VCC regulada

Esta fuente se encarga de alimentar con + 5 V al circuito de control que contiene al micro controlador ATmega16, relé de la fresa, relé del cubículo de adquisición de imagen, circuito de comunicación serial y dos entradas digitales de los fines de carrera. Para garantizar el correcto funcionamiento del micro controlador esta fuente debe ser regulada.

El micro controlador ATmega16 ocupa como máximo 6 salidas digitales a la vez, 4 salidas digitales para el control de los motores paso a paso con un consumo de 8 mA por salida, una salida digital para activar la bobina de uno de los relés correspondientes a la fresa o a la iluminación del cubículo de adquisición de

imagen con un consumo de 8.1 mA y una salida digital correspondiente al TXD con un consumo de 10 mA. Dando un total de consumo de corriente de 50.1 mA.

En la Tabla 2. 2 se muestra todos los dispositivos que consumen energía al mismo tiempo, con el fin de encontrar el consumo máximo de energía para poder dimensionar la fuente. La información que consta en la tabla se tomó de la hoja de datos de cada dispositivo.

Tabla 2. 2 Consumo máximo de corriente

DISPOSITIVO	CONSUMO DE CORRIENTE (mA)
ATmega16	50,1
Circuito de comunicación serial (MAX232, Led)	20
Entradas digitales de los Fines de carrera	20
Relé fresa o relé iluminación cubículo adquisición de Imagen	81,3
TOTAL	171,4

Los datos que se indican en la tabla, se tomaron de la hoja de datos de cada dispositivo.

La fuente se debe escoger teniendo en cuenta los requerimientos de voltaje y corriente por lo que VCC, es una fuente comercial como se observa en la Figura 2. 25, que tiene las siguientes características:

- ✓ Modelo: TC98A.
- ✓ Input AC: 110 V 60 HZ
- ✓ Output DC: 5 V, 500 mA
- ✓ Fuente regulada



Figura 2. 25 AC/DC Adapter TC98A

2.2.3.2 Fuente VCC1 no regulada

Esta fuente se encarga de alimentar con +12 V a la parte de control de los circuitos de manejo de motores paso a paso y a la iluminación del cubículo de adquisición de imagen.

Al no ser simultanea la alimentación, el consumo máximo se da cuando se enciende la iluminación del cubículo de adquisición de imagen con un consumo de 250 mA. Tanto el circuito de iluminación, como los circuitos que contralan los motores, no requieren un voltaje estable de 12V, por lo que se emplea una fuente no regulada.

Teniendo en cuenta el requerimiento de voltaje y corriente la fuente VCC1, es una fuente comercial como se observa en la Figura 2. 26, que tiene las siguientes características:

- ✓ Modelo: GEA1250
- ✓ Input AC: 110 V 60 HZ
- ✓ Output DC: 12 V , 500 mA
- ✓ Fuente no regulada



Figura 2. 26 AC/DC Adapter GEA1250

2.2.3.3 Fuente VCC2 regulada

Esta fuente se encarga de alimentar con +5 V para la parte de potencia de los circuitos de manejo de motor paso a paso que controlan el funcionamiento de los dos motores.

La parte de potencia de estos circuitos, está conformada por mosfet IRF520 cuyo voltaje fuente drenaje es $V_{SD} = 0.8V$, para una corriente de drenaje de $I_D = 1.1A$. Debido a la caída de voltaje en los mosfet, el voltaje que se suministra a los motores paso a paso es de 4.2 V y una corriente de 1.1 A, cumpliendo con las especificaciones de funcionamiento de dichos motores. Debido al requerimiento de un voltaje fijo de los motores, esta fuente debe ser regulada.

Cada bobina de los motores requiere de 1.1 A, al utilizar la secuencia de medio paso se activan máximo dos bobinas a la vez por cada motor. Dado que se tiene dos motores es necesario de la activación de cuatro bobinas, de modo que se requiere una fuente que entregue 4.4 A, cuando el consumo es máximo.

Teniendo en cuenta el voltaje y el requerimiento de corriente la fuente VCC2, está conformada de dos fuentes comerciales del mismo tipo de 2.5 A, para cumplir con los requerimientos de corriente, cada fuente alimenta a un circuito de manejo de motor paso a paso.

Esta fuente comercial tiene las siguientes características:

- ✓ Modelo: SHNO5200
- ✓ Input AC: 100 V 60 HZ
- ✓ Output DC: 5 V, 2.5 A
- ✓ Fuente regulada



Figura 2. 27 AC/DC Adapter SHNO5200

2.2.4 PROTECCIONES ELÉCTRICAS

El fusible es el componente más utilizado como forma de protección en los equipos electrónicos, los más comunes son los encapsulados en vidrio en donde internamente se coloca un hilo conductor térmico el cual se funde cuando se sobrepasa el límite de corriente que puede soportar, el fusible puede venir en diferentes presentaciones físicas y con características eléctricas diferentes dependiendo del uso requerido.

2.2.4.1 Fusible de protección

Las fuentes reguladas empleadas en el presente proyecto ya cuentan con su respectivo fusible de protección, de modo que se va a dimensionar un fusible que se encargue de la protección de todos los circuitos del sistema, esto se lo hace

calculando el consumo total de energía de la máquina duplicadora en funcionamiento.

En la Tabla 2. 3 se muestra el consumo de energía correspondiente a las fuentes de energía que alimentan a todos los circuitos como también el consumo de energía del motor de la fresa en su arranque. Estos valores se determinaron al medir la corriente, con la máquina en funcionamiento.

Tabla 2. 3 Consumo máximo de corriente

DISPOSITIVO	CONSUMO DE CORRIENTE (AC) (A)
Motor Fresa Arranque	5
Fuente VCC	0.02
Fuentes VCC1	0.21
Fuente VCC2	0.02
TOTAL	5.25

La corriente que debe soportar el fusible debe ser $I_{\text{Fusible}} = 1.25 * I_{\text{Total}}$, de modo que el fusible no se funda cuando la máquina se encuentra funcionamiento.

$$I_{\text{Fusible}} = 1.25 * 5.25$$

$$I_{\text{Fusible}} = 6.5625$$

Se utilizará un fusible de 6A.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL SOFTWARE DE SOPORTE

En este capítulo se describirá el desarrollo del software de soporte para el control del proceso de duplicado de llaves y la interfaz hombre máquina (HMI).

El software debe ser capaz de manejar el proceso de duplicado, que consiste en la captura de la imagen de una llave, el procesamiento de esta imagen para determinar las características de la llave que se deben replicar y realizar el corte de una llave en blanco, empleando un sistema micro procesado, con una interfaz gráfica amigable para el usuario.

Para realizar la aplicación se empleará un computador personal para el procesamiento de la imagen, una cámara de video para realizar la captura de la imagen y un micro controlador ATmega16 que manipula los circuitos de control que comandan los componentes de la máquina.

La comunicación entre el computador y el sistema micro procesado, se realizará por medio del puerto serial. En la Figura 3. 1, se indican los componentes del sistema:

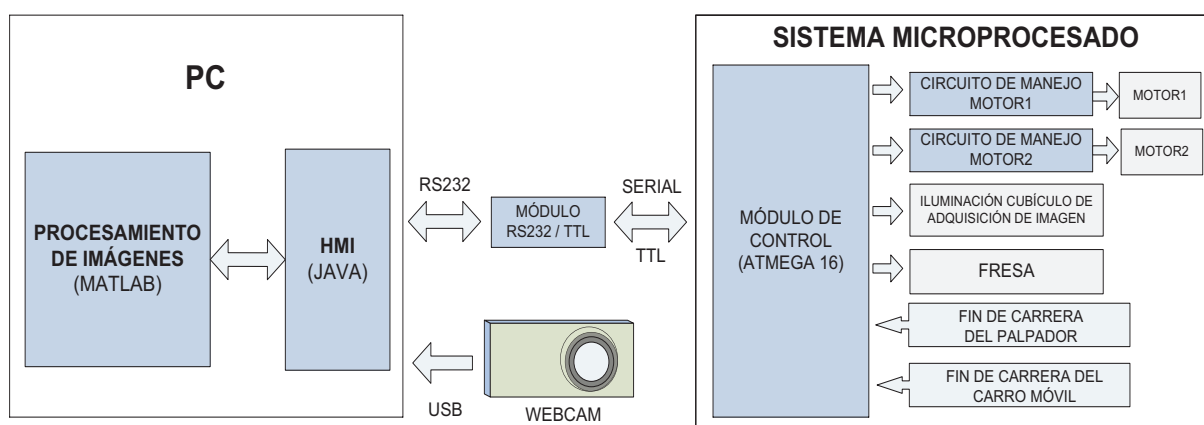


Figura 3. 1 Componentes de la aplicación

3.1 HMI

Para la ejecución del proceso de duplicado de llaves, se desarrolló una aplicación de escritorio con una interfaz gráfica de uso sencillo que se expone a continuación.

Esta aplicación se desarrolló utilizando el lenguaje de programación Java y “Java 2 Platform, Standard Edition (J2SE)”, de Oracle.

Para capturar las imágenes desde la cámara de video se utilizó “The Java Media Framework API (JMF)”, un paquete de software que contiene utilidades para reproducir audio y video, grabar y trabajar con imágenes.

Para utilizar el puerto serial desde la aplicación se utilizó “The Java Communications 3.0 API”; una extensión de Java, que provee a la aplicación acceso al puerto serial RS-232.

La pantalla principal de la aplicación como se observa en la Figura 3. 2, presenta un menú, que ofrece acceso a todas las funciones de la máquina, necesarias para el proceso de calibración, o diagnóstico; y un botón en la parte inferior de la ventana, que inicia el proceso de duplicado de llaves:



Figura 3. 2 Pantalla principal de la aplicación

3.1.1 ASISTENTE PARA DUPLICADO DE LLAVES

En la pantalla principal (Figura 3. 2) se tiene un botón (Nueva Copia), esta opción, abre una nueva ventana, desde donde se guía al operador durante el proceso de duplicar una llave. En cada paso de este proceso se presenta al usuario dos opciones (continuar o cancelar), dependiendo de la etapa en la que se encuentre, al dar clic en continuar la máquina realizará una acción o se presentará un nuevo mensaje y al dar clic en cancelar se regresará a un paso previo o se repetirá la acción.

3.1.1.1 Paso 1

Se muestra una pantalla informativa, indicando al operador que ubique la llave original, dentro del cubículo de adquisición de imágenes como se muestra en la Figura 3. 3. Al hacer clic en Cancelar se cierra la ventana.



Figura 3. 3 Paso 1: Se indica donde se debe ubicar la llave original

3.1.1.2 Paso 2

En esta ventana, como se indica en la Figura 3. 4, a la derecha se muestra una imagen de video donde se observa el interior del cubículo de adquisición de imágenes, donde el video se captura usando una cámara USB; a la izquierda de la pantalla se muestra un diagrama indicando la posición en la que debería ubicarse la llave.

Al dar clic en Cancelar, se desconecta la cámara de video y muestra la pantalla inicial (Paso 1). Mientras que al dar clic en Continuar, se captura la imagen y la envía al Paso 3.

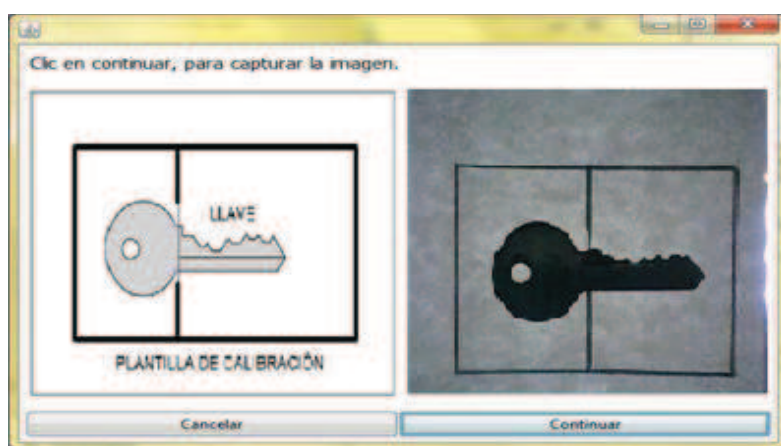


Figura 3. 4 Paso 2: Se muestra el interior del cubículo de adquisición

3.1.1.3 Paso 3

Como se indica en la Figura 3. 5, en esta pantalla se muestra la imagen, que se capturó en el Paso 2, el operador puede tomar una nueva imagen, al dar clic en Cancelar.

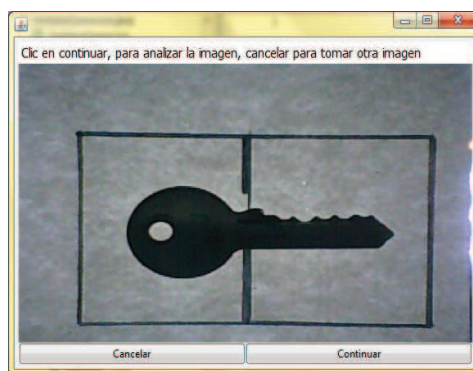


Figura 3. 5 Paso 3: Se muestra la imagen que se capturó

3.1.1.4 Paso 4

En este paso se envía la imagen de la llave original (Figura 3. 5) a la aplicación que se desarrolló en MATLAB, donde se realiza el proceso de análisis de la llave, el resultado de este proceso es la secuencia de pasos que se deberá seguir para realizar el duplicado. Más detalles sobre el proceso de análisis se encuentran en la sección 3.3.2 (Proceso de Análisis de la Llave).

Finalmente se muestra en la pantalla el perfil de la llave como se observa en la Figura 3. 6. En caso de que se quiera reprocesar, al dar clic en Cancelar, se retorna al Paso 2.



Figura 3. 6 Paso 4: Se muestra la imagen luego del análisis

3.1.1.5 Paso 5

En esta pantalla, como se ve en la Figura 3. 7, se indica al operador, que en caso de que se encuentre una llave en la mordaza, ésta se debe retirar; al dar clic en Continuar se ubica el carro en la posición inicial.



Figura 3. 7 Paso 5: Previo a ubicar el carro en la posición inicial

3.1.1.6 Paso 6

Una vez que la máquina se ha ubicado en la posición de inicio, se indica al operador que coloque en la mordaza una llave en blanco, ver Figura 3. 8. Al dar clic en Continuar se enciende la fresa y se inicia el proceso de corte.



Figura 3. 8 Paso 6: Previo a realizar el corte

3.1.1.7 Paso 7

Se muestra en la pantalla el perfil de la llave y se marca en azul el progreso como se observa en la Figura 3. 9. Una vez que se ha terminado de cortar el perfil de la llave, se apaga automáticamente la fresa y se muestra al usuario un mensaje indicando que se terminó el proceso.

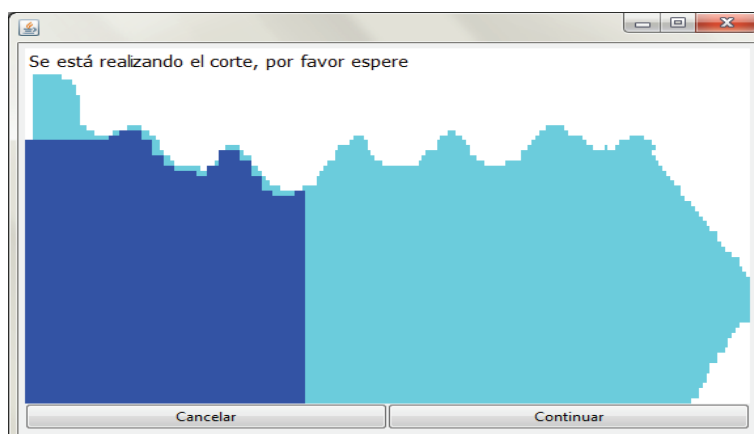


Figura 3. 9 Paso 7: Se muestra el avance del proceso

3.1.1.8 Paso 8

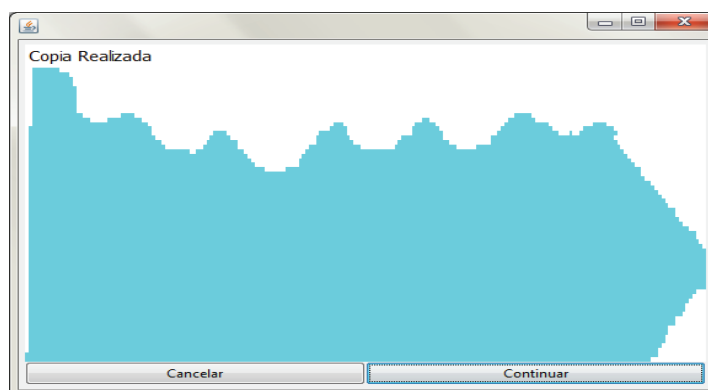


Figura 3. 10 Paso 8: Se indica el resultado del proceso

Una vez que se termina el proceso, se indica al usuario como se observa en la Figura 3. 10. Al escoger Continuar se regresa a la pantalla inicial, mientras que al

escoger Cancelar se retorna al Paso 4 lo que permite realizar otro duplicado con las mismas características.

3.1.2 MENÚ PRINCIPAL

Como se observa en la Figura 3. 2, en la pantalla principal de la aplicación, se tiene además del botón Nueva Copia un botón menú, desde donde se tiene acceso a varias funciones de utilidad para la calibración y mantenimiento de la máquina.

Como se observa en la Figura 3. 11, algunas de las funciones se encuentran deshabilitadas (color gris) ya que no son necesarias para la operación normal de la máquina. Para habilitar estas funciones se debe ingresar la clave de mantenimiento, ver sección 3.1.2.3.2.

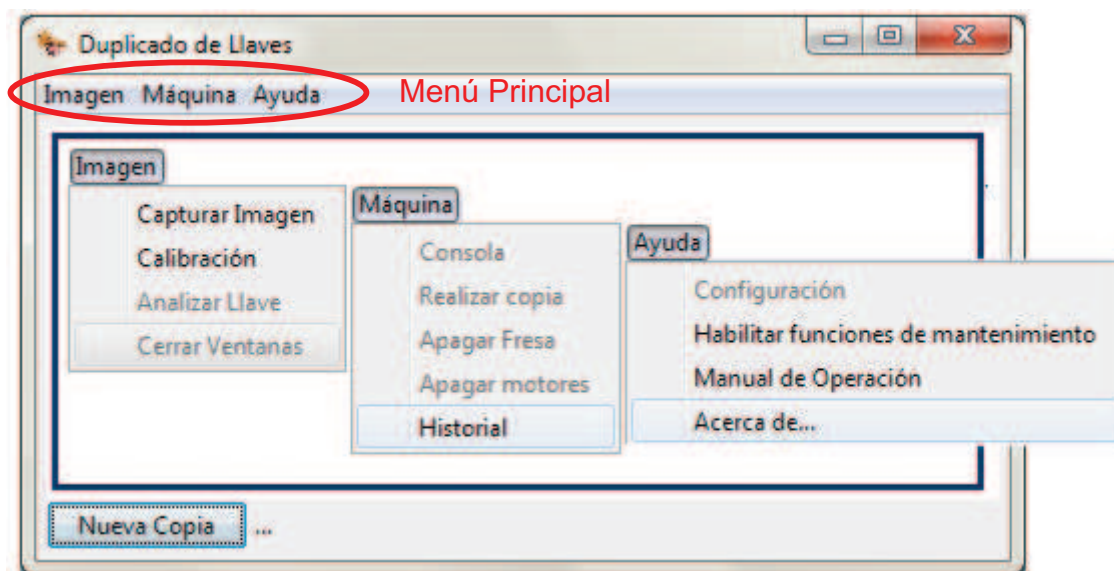


Figura 3. 11 Menú principal

A continuación se describe cada una de las opciones disponibles en el menú principal de la aplicación.

3.1.2.1 Menú imagen

En el menú imagen se agrupan funciones relacionadas con el procesamiento de imágenes que se realiza en MATLAB, éstas se presentan a continuación (Figura 3. 12):

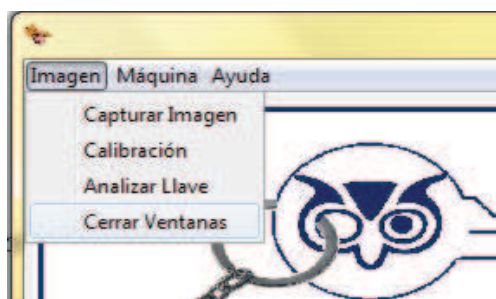


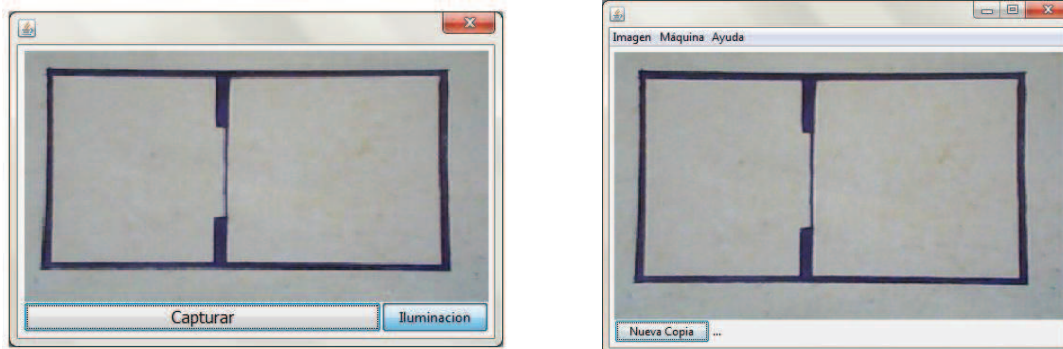
Figura 3. 12 Menú imagen

3.1.2.1.1 Capturar imagen:

Abre una nueva ventana de video donde se observa el interior del cubículo de adquisición de imágenes (Figura 3. 13. a), donde el video se captura usando una cámara USB.

En esta ventana se tiene la opción de encender o apagar la iluminación, al hacer clic en este botón se envía un comando al sistema micro procesado, éste a su vez activa un relé al que está conectada la lámpara del cubículo de adquisición.

Al dar clic en el botón Capturar se toma una fotografía, se cierra la ventana y se muestra la imagen en la ventana principal (Figura 3. 13. b).



a. Ventana video

b. Pantalla principal

Figura 3. 13 Menú capturar imagen

Esta ventana es útil para probar el funcionamiento y enfoque de la cámara, además de comprobar el circuito de iluminación.

3.1.2.1.2 Calibración

Esta opción envía la imagen de la plantilla a una aplicación que se desarrolló en MATLAB, donde se realiza el proceso de calibración, el resultado de este proceso se almacena y se utilizará cada vez que se realice un duplicado, por lo que sólo es necesario que se ejecute una vez. Se muestra el resultado del proceso en la ventana principal (Figura 3. 14). Más detalles sobre el proceso de calibración se encuentran en la sección 3.3.1 (Proceso de Calibración).

Esta opción permite calibrar la máquina, en caso de que se utilice una plantilla, o una cámara diferente, o la cámara se haya movido.

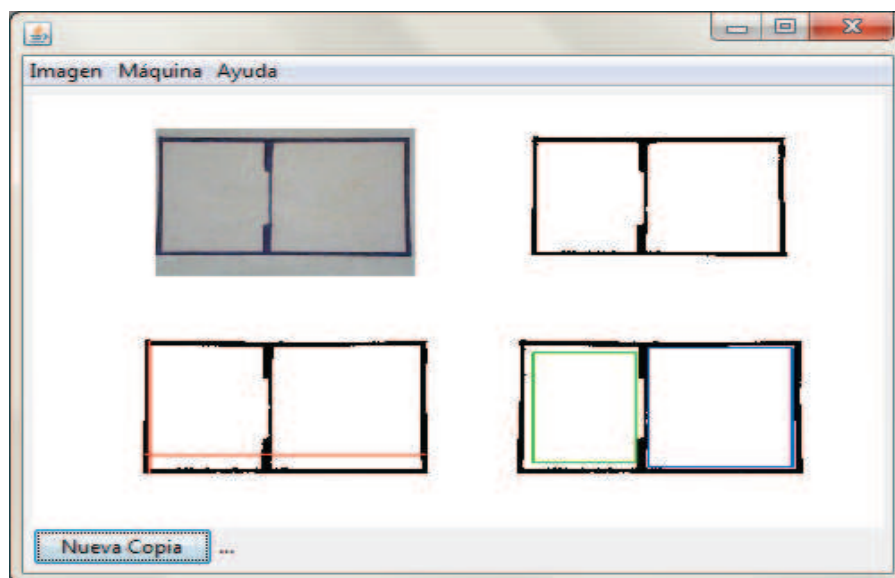


Figura 3. 14 Calibración

3.1.2.1.3 *Analizar llave*

Esta opción envía la imagen de una llave original (Figura 3. 15) a la aplicación que se desarrolló en MATLAB, donde se realiza el proceso de análisis de la llave, el resultado de este proceso es la secuencia de pasos que se deberá seguir para realizar el duplicado. Más detalles sobre el proceso de análisis se encuentran en la sección 3.3.2 (Proceso de Análisis de la Llave)

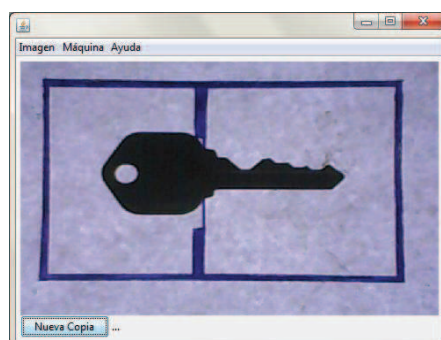


Figura 3. 15 Analizar llave

3.1.2.1.4 Cerrar ventanas

El proceso de analizar la llave, puede opcionalmente mostrar varias imágenes indicando los diferentes pasos del proceso, esta opción del menú permite cerrar estas ventanas adicionales.

3.1.2.2 Menú máquina

En el menú Máquina se agrupan funciones que dependen del sistema micro procesado.

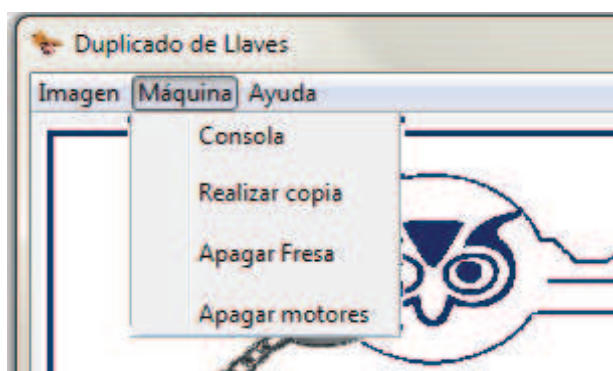


Figura 3. 16 Menú máquina

3.1.2.2.1 Consola

Abre una nueva ventana que permite enviar comandos directamente al sistema micro procesado, donde se muestran los datos enviados y recibidos como se muestra en la Figura 3. 17.

En la Tabla 3. 2 se puede ver un detalle de los comandos disponibles. Esta ventana es útil para comprobar el correcto funcionamiento del sistema micro procesado.

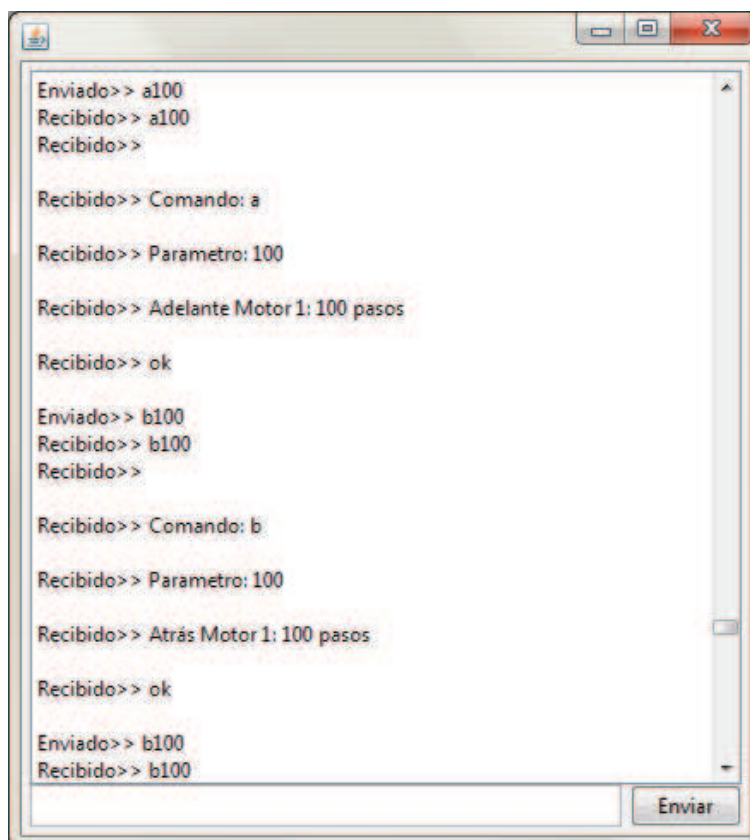


Figura 3. 17 Consola

3.1.2.2.2 Apagar fresa

Envía al sistema micro procesado el comando que apaga el motor de la fresa. Esta opción está disponible como medida de seguridad en caso de que la fresa no se haya apagado automáticamente

3.1.2.2.3 Apagar motores

Envía al sistema micro procesado el comando que desactiva las bobinas de los motores a pasos, para evitar el consumo de energía mientras la máquina no está en uso.

3.1.2.2.4 Realizar copia

Abre una nueva ventana desde donde se controla el proceso de cortar el perfil de la llave. En la pantalla se muestra el perfil de la llave que se va a cortar (Figura 3. 18.a) y el proceso de avance del corte (Figura 3. 18.b).

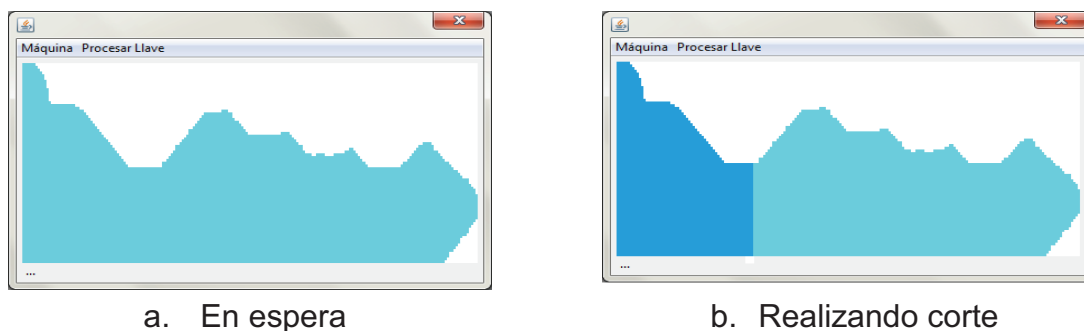


Figura 3. 18 Pantalla realizar copia

En esta pantalla están disponibles las siguientes opciones:

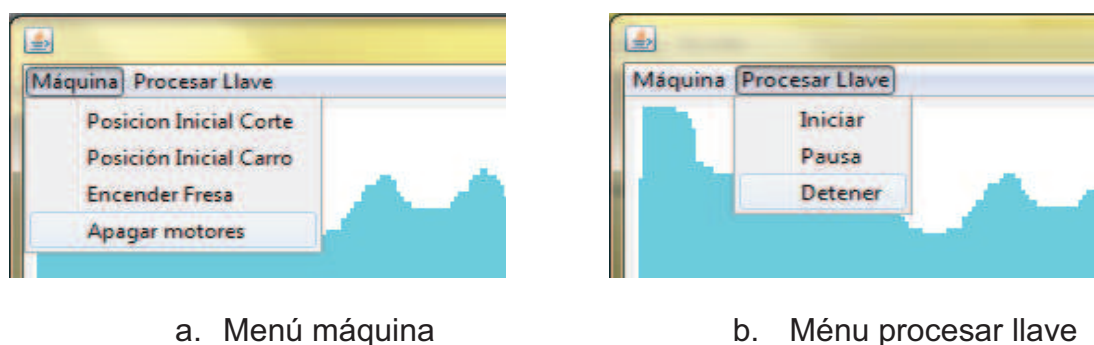


Figura 3. 19 Pantalla realizar copia – menú

Posición inicial corte: Envía al sistema micro procesado instrucciones, para ubicar la llave en blanco a una distancia conocida de la fresa.

Posición inicial carro: Envía al sistema micro procesado instrucciones, para ubicar el carro de modo que el hombro de la llave en blanco se encuentre bajo la fresa.

Encender/Apagar fresa: Envía al sistema micro procesado instrucciones, para activar o desactivar el relé que opera el encendido del motor de la fresa.

Apagar motores: Envía al sistema micro procesado el comando que desactiva las bobinas de los motores a pasos, para evitar el consumo de energía mientras la máquina no está en uso.

Procesar llave: En este menú se tiene la opción de Iniciar\Pausa\Detener el proceso de cortar el perfil de la llave como se muestra en la Figura 3. 19 . Este proceso consiste en enviar al sistema micro procesado instrucciones indicando el sentido y el número de pasos que se debe mover cada motor para completar la secuencia que se determinó en el paso previo de Analizar Llave.

3.1.2.3 Menú ayuda

Desde este menú se tiene acceso al manual del usuario y a los parámetros de operación del sistema.

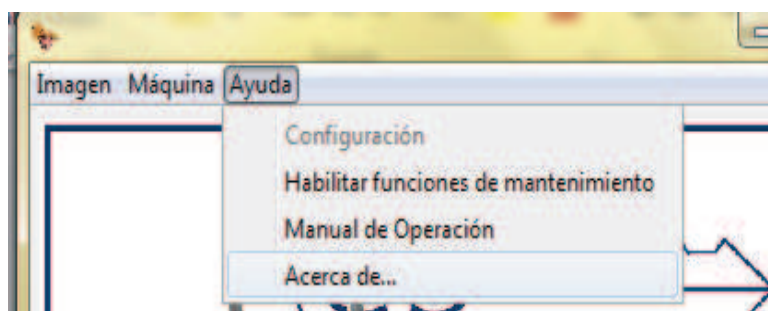


Figura 3. 20 Menú ayuda

3.1.2.3.1 Configuración

El comando Configuración, abre una nueva ventana, desde donde se puede modificar los parámetros de operación de la aplicación.

Aquí se puede definir el puerto serial que se va a utilizar, la resolución de la cámara, la velocidad de comunicación, la velocidad de los motores, entre otros parámetros; esta información sólo se debe modificar en caso de mantenimiento, instalación, o remplazo de algún componente.

En la Figura 3. 21 se indica la pantalla que se abre con el comando Configuración.

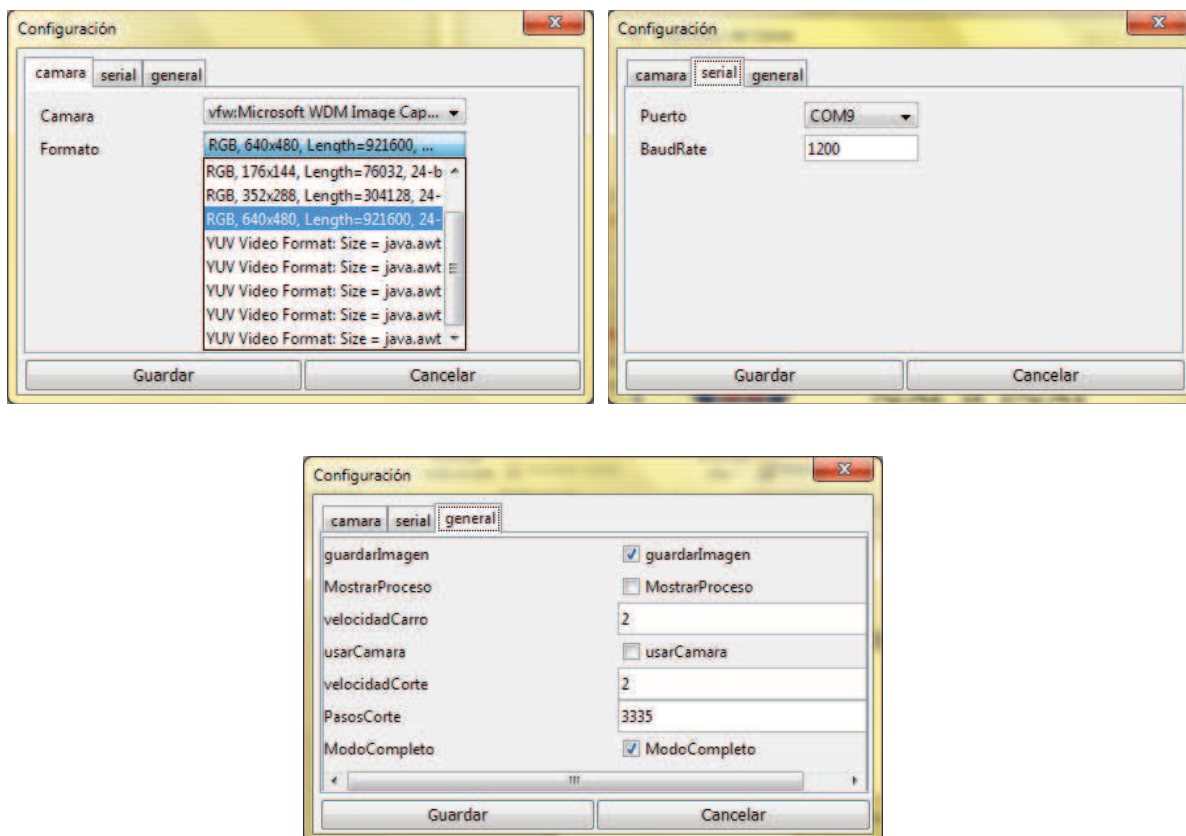


Figura 3. 21 Pantalla de configuración

3.1.2.3.2 *Habilitar funciones de mantenimiento*

En la Figura 3. 11 donde se observa las diferentes opciones del menú de la aplicación, algunas de las opciones aparecen de color gris, esto se realizó como medida de precaución para evitar que el operador tenga acceso a algunas funciones del programa, que se deben utilizar sólo en caso de mantenimiento.

Para poder utilizar estas opciones, se debe escoger *Habilitar funciones de mantenimiento*, del menú *Ayuda*; esto abre una ventana (Figura 3. 22.a), donde se debe ingresar la clave de mantenimiento, luego de ingresar la clave y dar clic en OK, se habilitan todas las opciones del menú.

Desde esta pantalla también se puede cambiar la clave de mantenimiento, para esto se debe marcar la opción *Cambiar Clave*, como se observa en la Figura 3. 22.b, luego de ingresar la clave de mantenimiento, se pedirá el ingreso de una clave nueva, ver ventana (Figura 3. 22.c) y que se vuelva a ingresar para verificar, ver (Figura 3. 22.d).

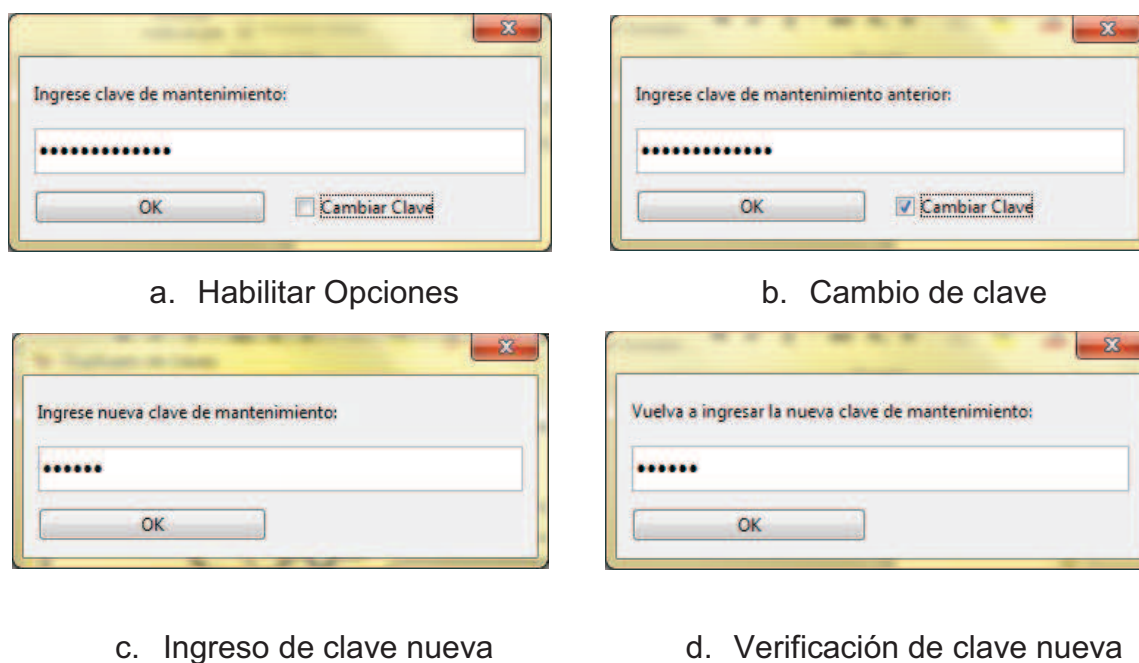


Figura 3. 22 Ingreso de clave de mantenimiento

3.1.2.3.3 Manual de operación

La opción *Manual de Operación*, abre un archivo que contiene el manual del usuario, el mismo se incluye en el Anexo 2.

3.1.2.3.4 Acerca de...

La opción Acerca de..., abre una pantalla, con información sobre este proyecto. Ver Figura 3. 23

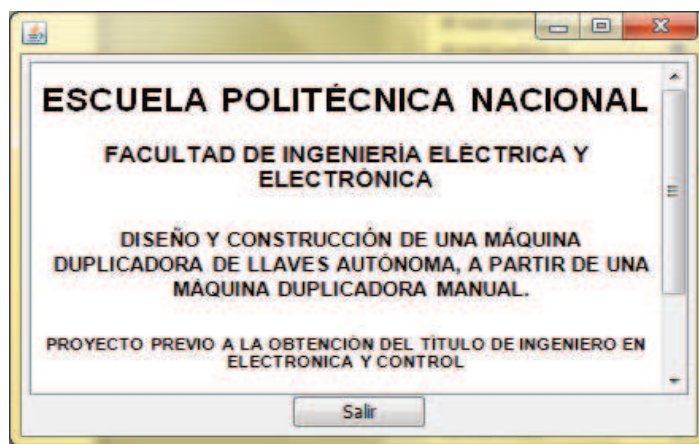


Figura 3. 23 Menú acerca de...

3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

Antes del proceso de duplicado, es necesario tener una referencia que permita definir la relación que existe entre pixeles de la imagen y milímetros de la llave que se desea duplicar, para ello existe una fase previa de calibración.

3.2.1 CALIBRACIÓN

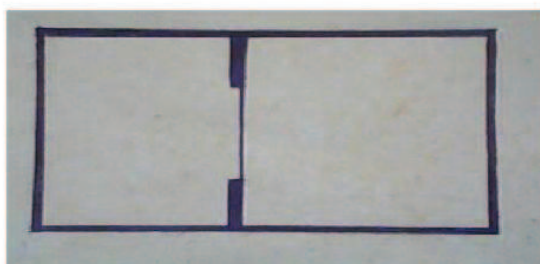
La calibración sirve para definir una relación entre el número de pixeles que ocupa la llave en la imagen y las dimensiones físicas (mm) de la misma, esto permite más tarde, determinar la ubicación y profundidad a la que se debe cortar la paleta de la llave en blanco.

Los pasos para la calibración son los siguientes:

- ✓ Se toma una imagen de la plantilla de calibración. (Figura 3. 24.a)

- ✓ En MATLAB, se determina el número de pixeles que ocupa horizontalmente la plantilla de calibración; esto junto con su longitud en milímetros, permite determinar las dimensiones en milímetros de la llave que se ubique sobre la plantilla de calibración. (Figura 3. 24.c)
- ✓ En MATLAB, se determina la ubicación del área izquierda y derecha de la plantilla de calibración, lo que luego permitirá identificar la empuñadura (izquierda) y el brazo de la llave (derecha). (Figura 3. 24.d)
- ✓ Se almacena los datos de la calibración que corresponden a la relación que existe entre pixeles y milímetros.

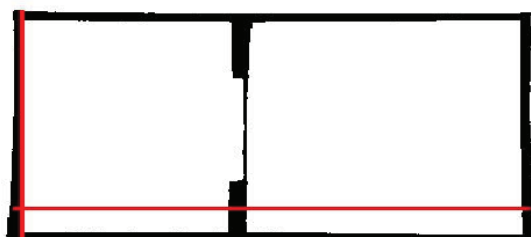
Es necesario ejecutar este proceso sólo una vez, la información obtenida de esta calibración se almacena y se utiliza cada vez que se realice un duplicado.



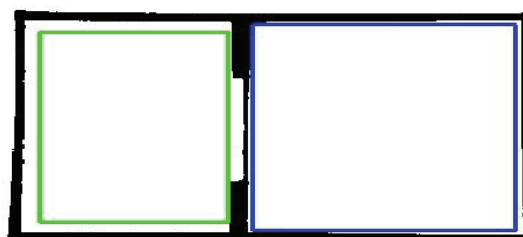
a. Fotografía de la plantilla



b. Imagen de la plantilla luego del pre procesamiento



c. Determinar relación pixel - mm



d. Área de interés:
Azul: Área del brazo
Verde: Área de la empuñadura

Figura 3. 24 Plantilla de calibración

En la Figura 3. 25 se indica el diagrama de flujo que describe el proceso de calibración:

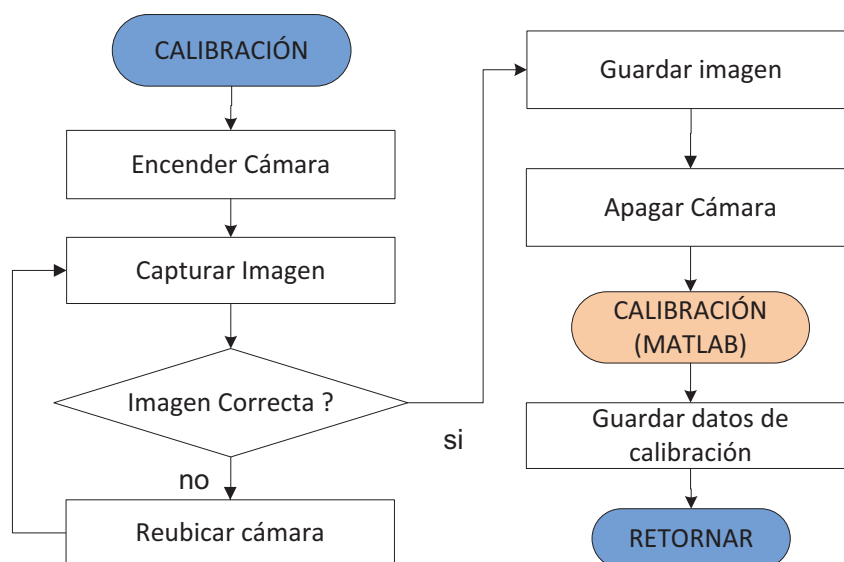


Figura 3. 25 Diagrama de flujo Calibración

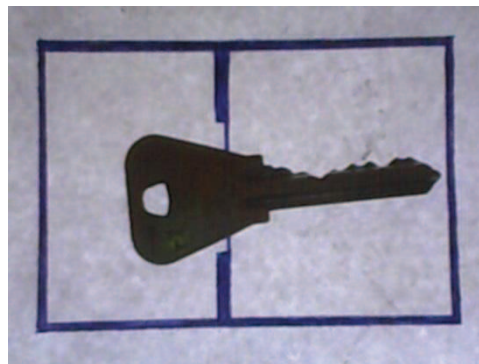
3.2.2 DUPLICADO

El proceso para realizar un duplicado, comienza por obtener una imagen de la llave original que se ubica previamente sobre la plantilla de calibración y se ilumina desde abajo lo que aumenta el contraste, de este modo se consigue una imagen clara del perfil de la llave como se observa en la Figura 3. 26.b. Mientras que a diferencia de la imagen de la Figura 3. 26.a, donde la fotografía se realizó con luz ambiental, en este caso el perfil no se distingue de forma clara.

La iluminación controlada es muy importante ya que permite identificar en la imagen el perfil de la llave original de forma clara.



a. Iluminación natural



b. Iluminación controlada

Figura 3. 26 Fotografía de la llave a procesar

Luego de obtener la imagen de la llave que se quiere duplicar (Figura 3. 27.a) y usando la información que se obtuvo durante la fase de calibración, se identifica la porción de la imagen que corresponde al brazo, es decir se toma la porción de la imagen correspondiente a la parte derecha de la plantilla de calibración.

Es importante separar la parte izquierda de la plantilla de calibración que corresponde a la empuñadura ya que la forma de la empuñadura puede ser muy diferente entre una y otra llave lo que dificultaría el proceso de determinar las dimensiones de la llave. En la Figura 3. 27.b, se observa una imagen del brazo de la llave, que se obtuvo a partir de la fotografía original.



a. Fotografía de la llave original



b. Imagen de la llave original luego del preprocesamiento

Figura 3. 27 Llave Original a duplicar

El siguiente paso es identificar la ubicación del hombro de la llave, ya que desde este punto se deberá realizar el corte en la llave en blanco siguiendo el perfil de la llave original.

Para determinar la ubicación del hombro, se aprovecha el hecho de que en este punto se forma un ángulo cercano a 90 grados; esto se puede observar en la Figura 3. 28.a, (se indica en verde).

El programa que se desarrolla también es capaz de identificar la ubicación y profundidad de las muescas, en la llave original (Figura 3. 28.a en azul), sin embargo, con el fin de realizar un duplicado idéntico al original, se determina la profundidad del perfil de la llave en cada punto a partir del hombro, esto se puede ver en detalle en la Figura 3. 28.b.

La profundidad en cada punto se determina en pixeles, la información obtenida en la fase de calibración, permite determinar el equivalente en milímetros; esta información, la profundidad y ubicación de cada punto del perfil, se utilizará para realizar el corte de la llave en blanco.

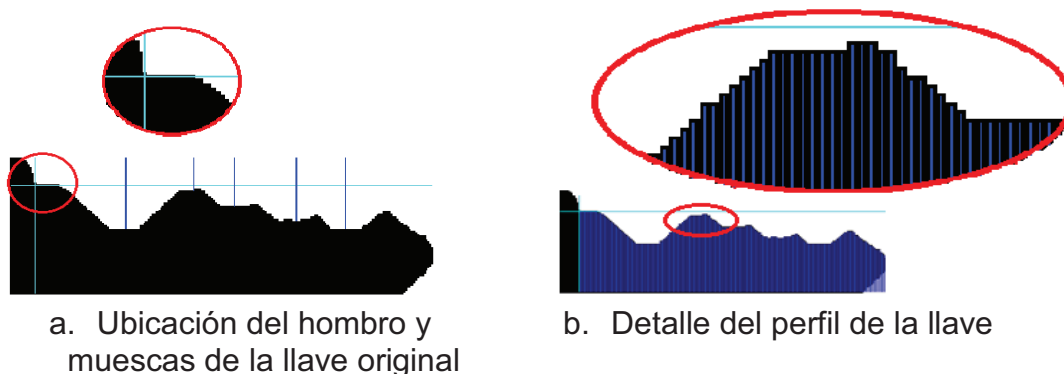


Figura 3. 28 Análisis de la imagen

Una vez que se determinó las dimensiones en milímetros de la llave original, se calcula el número de pasos y la secuencia en la que se deberá mover los

motores para realizar el corte de la llave en blanco para replicar el perfil de la llave original. Esta información se almacena, para poder realizar otras copias, sin necesidad de tomar una nueva imagen de la llave.

Antes de empezar a cortar la llave en blanco, es necesario ubicar correctamente el carro frente a la fresa, a la altura del hombro de la llave en blanco y a una distancia determinada de la fresa, ya que la secuencia de pasos que se determinó en el paso previo, considera éste como el punto de inicio para realizar el corte.

Los fines de carrera instalados en la máquina indican esta posición inicial. Para esto se envía al sistema micro procesado a través del puerto serial una instrucción seleccionando el motor, en qué sentido se debe mover y cuántos pasos. Al llegar al fin de carrera el motor se detiene y el micro controlador responde a través del puerto serial indicando que se ha alcanzado la posición inicial.

Una vez que se ha ubicado la máquina en su posición de inicio, se envía por medio del puerto serial del computador, instrucciones al sistema micro procesado para encender el motor de la fresa y luego mover cada uno de los motores según la secuencia de pasos que se determinó en los pasos previos. El sistema espera la respuesta del micro controlador, indicando que se ha terminado la ejecución de una instrucción para enviar la siguiente, una vez que se ha concluido el total del corte de la llave se apaga la fresa y se indica al operador el fin del proceso.

En la Figura 3. 29 se indica el diagrama de flujo que describe todo el proceso de duplicado:

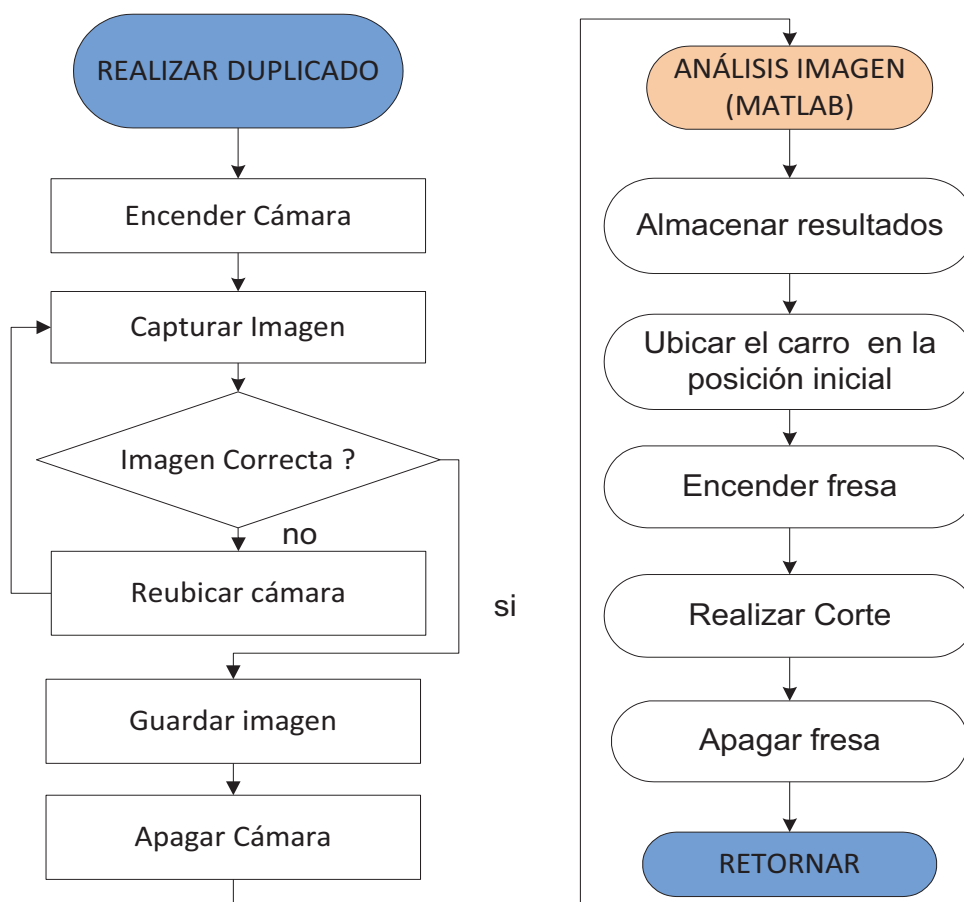


Figura 3. 29 Diagrama de flujo duplicado

3.3 COMPONENTE DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

El proceso de duplicado de llaves que se implementó, depende de identificar la ubicación, forma y dimensiones del perfil de la llave; a partir de una fotografía. Esto se desarrolló empleando MATLAB®, para aprovechar la funcionalidad de procesamiento de imágenes, que se incluye en el Image Processing Toolbox™.

Se desarrollaron dos procesos principales, uno recibe la imagen de la plantilla de calibración y determina las dimensiones de la plantilla; y un segundo proceso que recibe la imagen de una llave y determina la secuencia de movimientos de los motores paso a paso para para realizar un duplicado.

MATLAB Compiler™ permite exponer funciones desarrolladas en MATLAB, para utilizarse con otros lenguajes de programación. La aplicación principal que se desarrolló en JAVA, emplea estas funciones para realizar el procesamiento de imágenes.

A continuación se describe la aplicación desarrollada en MATLAB.

3.3.1 PROCESO DE CALIBRACIÓN

En este proceso se parte de una imagen de la plantilla de calibración, el objetivo es determinar la ubicación de cada una de las líneas que la conforman y el número de pixeles que ocupan. De manera que las dimensiones en milímetros de la plantilla de calibración son conocidas, esto permite determinar una relación entre el número de pixeles que ocupa un objeto en la imagen y la longitud del objeto en milímetros.

En la Figura 3. 30 se observa una fotografía de la plantilla de calibración, con sus dimensiones; en este caso la línea de 75 mm ocupa 500 px en la imagen, lo que implica, que la distancia entre el punto A y el B, que en la imagen de la plantilla ocupa 100 px, corresponde a 15 mm.

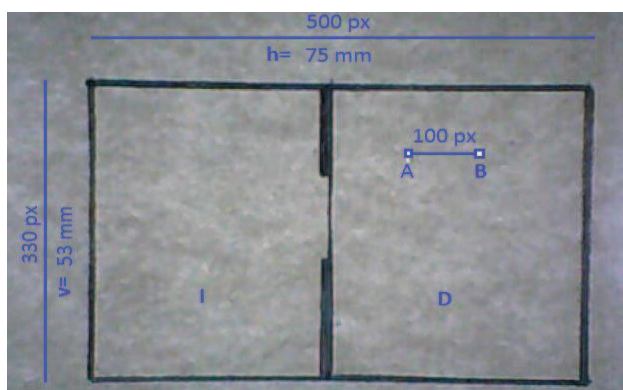


Figura 3. 30 Medidas de la plantilla de calibración

3.3.1.1 Corrección de la imagen

La imagen que se captura con la cámara, se obtiene en formato RGB (ver sección 1.5.1.2); la información de color no es requerida, sólo se necesita la posición de las líneas dentro de la imagen; por lo que se descarta la información de color al transformar la imagen a una en blanco y negro, más detalles en la sección 1.5.3.3.

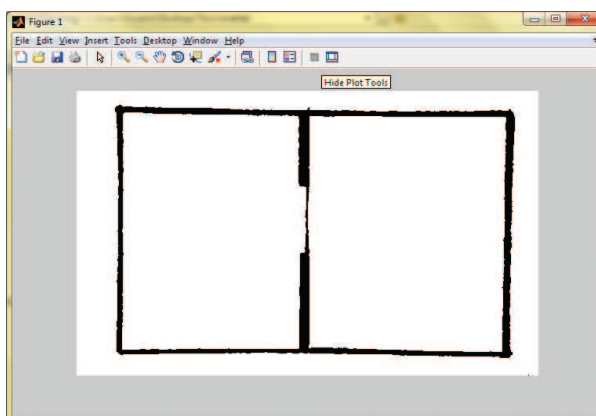


Figura 3. 31 Plantilla de calibración en blanco y negro

Ya que la cámara se ubica de forma manual, la plantilla de calibración en la imagen no se encuentra de forma horizontal; en este paso, se corrige la inclinación de la imagen como se observa en la Figura 3. 32.

Para esto se determina la ubicación del borde inferior de la plantilla y con esto se determina el ángulo que se debe rotar la imagen para que se observe horizontal.

Para esto se determina la ubicación del borde inferior de la plantilla (ver Figura 3. 32.a), que debería ubicarse horizontal en la imagen, con esto se determina el ángulo que forma con la horizontal y éste se utiliza para rotar la imagen.

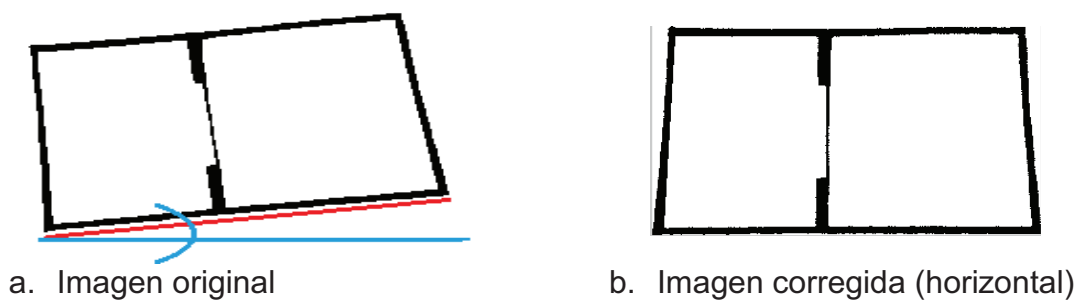


Figura 3. 32 Corrección de la inclinación de la imagen

3.3.1.2 Relación pixel-milímetro

El siguiente paso es determinar la relación entre píxeles y milímetros, horizontal y verticalmente, esto se va a emplear para determinar las dimensiones de la llave a partir de la imagen.

Para determinar la relación horizontal se toma la región inferior de la imagen, como se observa en la Figura 3. 33, dentro de esta región se observa claramente que la línea de mayor longitud, corresponde al borde inferior de la plantilla. La relación horizontal será el número de píxeles que ocupa esta línea en la imagen dividido para la longitud en milímetros.

Para determinar la relación vertical se realiza el mismo proceso, en una región a la izquierda de la imagen.

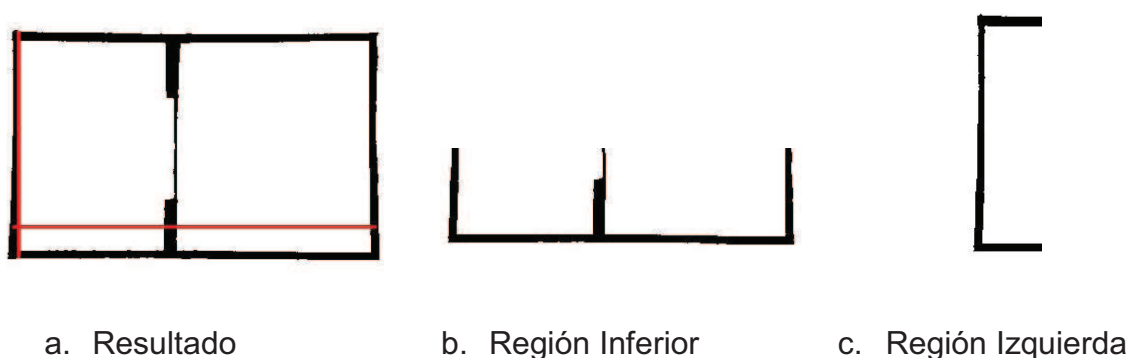


Figura 3. 33 Identificación de los bordes de la plantilla

La plantilla divide la imagen en dos áreas separadas, donde el área de la derecha encerrará el brazo de la llave y el área de la izquierda la empuñara, por esto es importante determinar correctamente estas áreas.

El algoritmo que se desarrolló para determinar estas áreas, básicamente parte de un valor semilla que es un punto dentro de la imagen, que se asume estará dentro de la región de la derecha, a partir de este punto se traza un rectángulo, las dimensiones de éste se amplían hasta que cada uno de sus lados se interseca con los bordes de la plantilla, este proceso se ilustra en la Figura 3. 34.

De igual forma, se realiza un proceso similar para identificar el área de la izquierda.

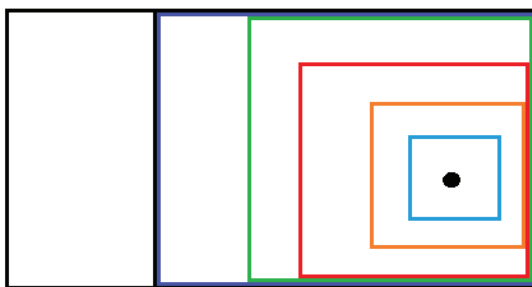


Figura 3. 34 Determinación del área derecha de la plantilla

A continuación en la Figura 3. 35, se muestra el resultado de identificar las dos áreas que forman la plantilla:

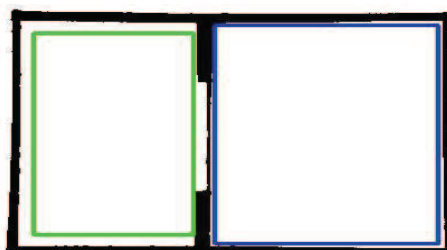


Figura 3. 35 Identificación de las áreas de la plantilla de calibración

A continuación, en la Figura 3. 34 se muestra el diagrama de flujo que describe el proceso de calibración:

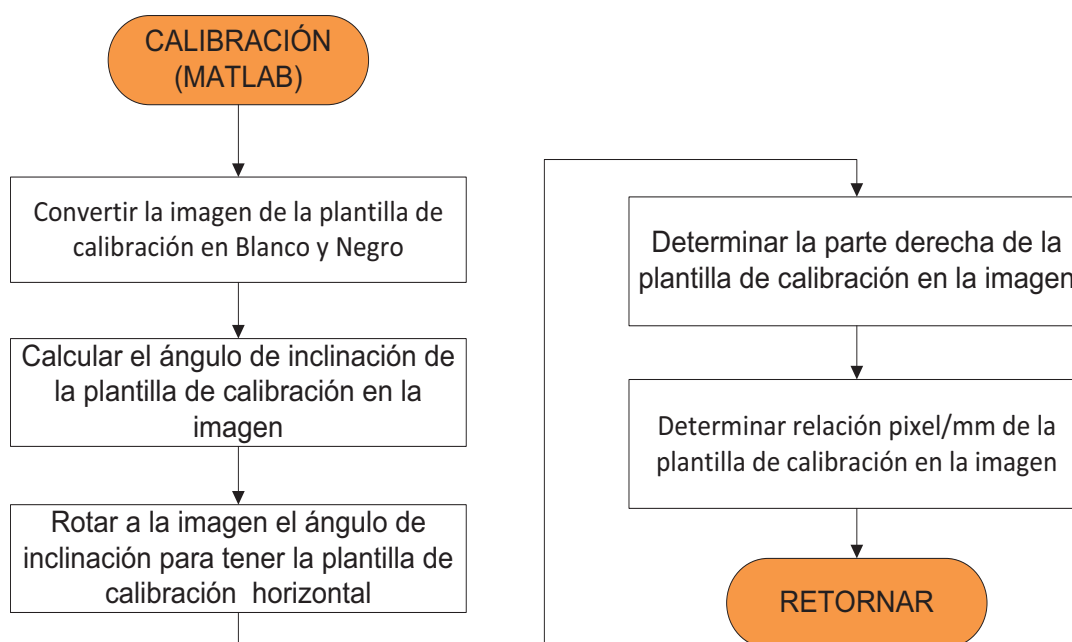


Figura 3. 36 Diagrama de flujo calibración

3.3.2 PROCESO DE ANÁLISIS DE LA LLAVE

En el proceso de calibración se determinó, la ubicación del área de la derecha de la plantilla, esto permite identificar en la fotografía de la llave, la parte que corresponde al brazo (Figura 3. 37).

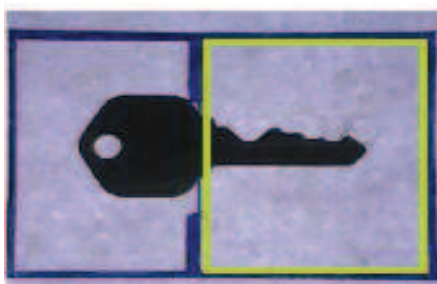


Figura 3. 37 Identificación del brazo de la llave

De igual modo que en el proceso de calibración, se transforma la imagen a una en blanco y negro, se corrige la inclinación asegurando que el borde inferior del brazo se muestre horizontal.

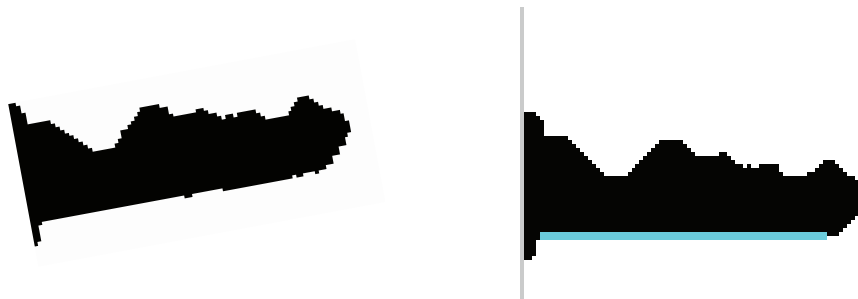


Figura 3. 38 Corrección de la inclinación de la llave

Una vez que se realizó la corrección de la inclinación de la imagen, se procede a identificar el hombro de la llave a partir del cual empieza el contorno.

Para identificar el hombro se considera el hecho de que en este punto, se forma un ángulo cercano a 90° ; se toma el perfil de la llave como una curva (Figura 3. 39.a) y se determina su pendiente (Figura 3. 39.c), el punto en que la pendiente tiene un valor máximo corresponde a la ubicación del hombro en el eje horizontal; se realiza el mismo procedimiento en el eje vertical, rotando la imagen 90° (la Figura 3. 39.b y d) y con esto se determina la posición en la que se encuentra el hombro.

Una vez que se determinó la ubicación del hombro, el siguiente paso es determinar el perfil de la llave para realizar el corte.

Para esto se determina el número de píxeles entre el perfil y el borde inferior de la imagen, que se ha dividido en 90 muestras; utilizando la relación que se determinó durante el proceso de calibración, se determina el ancho en milímetros de la llave en cada muestra.

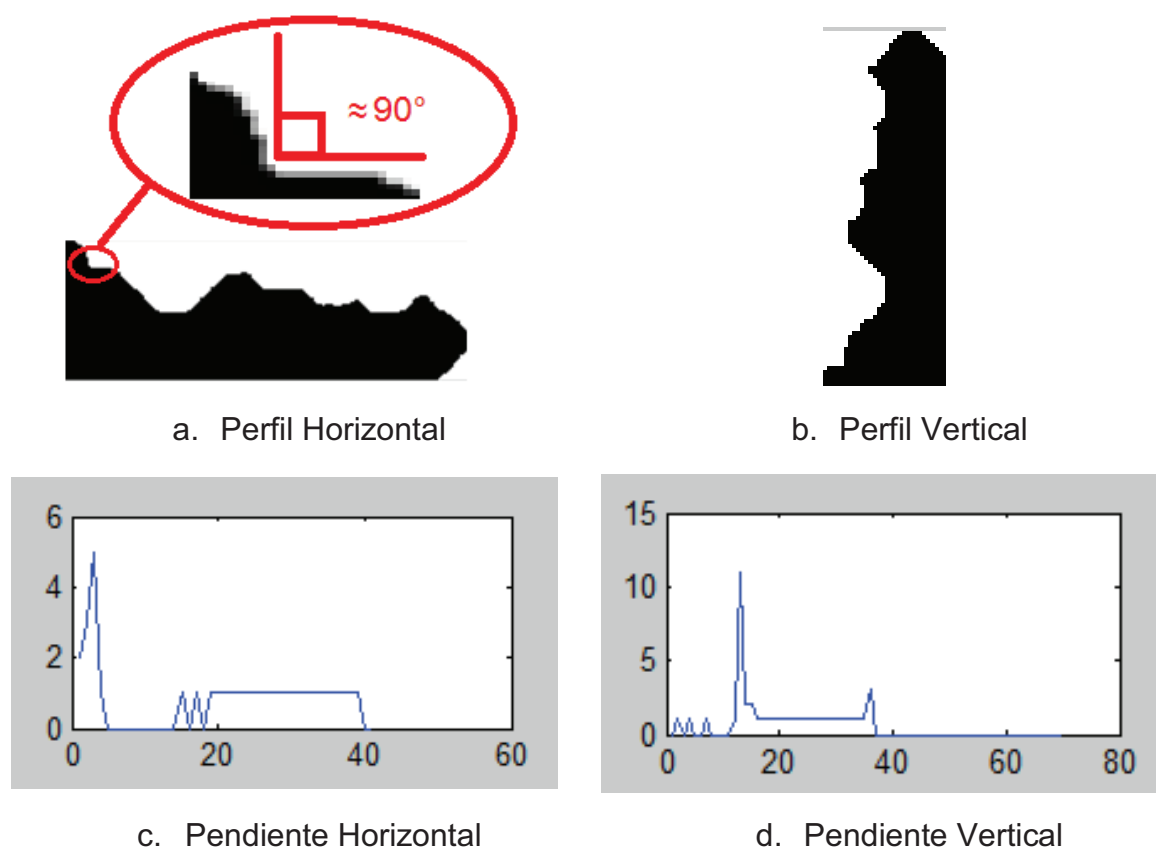


Figura 3. 39 Localización del hombro de la llave

Una vez determinadas las distancias en milímetros, se debe determinar la secuencia de pasos, que se debe mover cada motor, para ir ubicando la llave en blanco contra la fresa de modo que se le de forma siguiendo el perfil de la llave original.

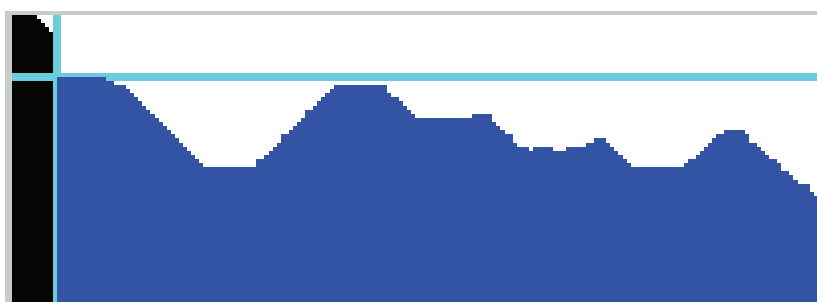


Figura 3. 40 Perfil de la llave original

A continuación, en la Figura 3. 41 se muestra el diagrama de flujo que describe el proceso de análisis:

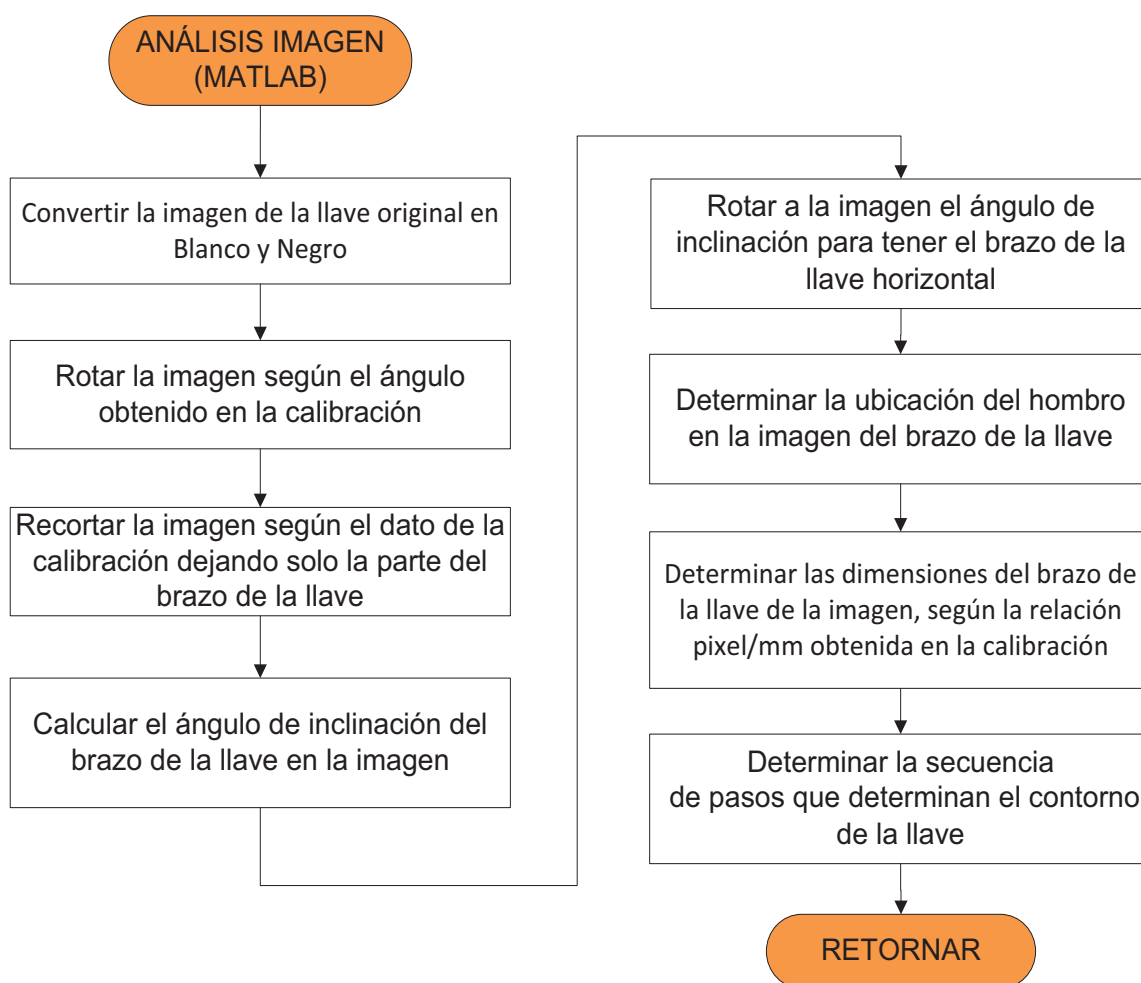


Figura 3. 41 Diagrama de flujo análisis imagen

3.4 SISTEMA MICRO PROCESADO

Previamente se explicó la aplicación con la que interactúa el operador para realizar el duplicado de llaves (HMI), y el componente de software que determina la secuencia de movimientos necesarios para realizar el corte de la llave.

Como ya se indicó la aplicación envía a través del puerto serial del computador las instrucciones necesarias para realizar el corte de la llave. En esta sección se

describe el programa que ejecuta el sistema micro procesado, para recibir estas instrucciones a través del puerto serial, y ejecutar las acciones que correspondan.

Los recursos del micro procesador, que se utilizan se muestran en la Tabla 2. 1

Al iniciar, el programa configura el puerto serial del micro procesador, definiendo la velocidad de transmisión y el número de bits, desactiva el puerto de salida que controla la fresa y la iluminación. Luego entra en un lazo, en espera de recibir datos por el puerto serial.

A continuación, en la Figura 3. 42 se muestra el diagrama de flujo del programa principal:

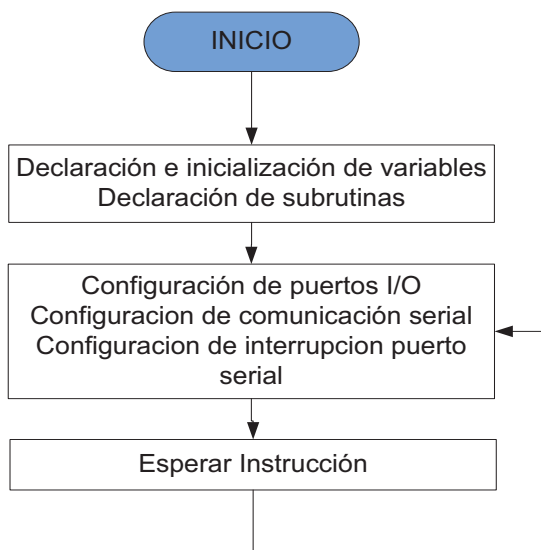


Figura 3. 42 Programa principal del sistema micro procesado

El programa permanece en espera, hasta que se recibe información en el puerto serial, esto dispara una interrupción, donde se recupera el texto recibido.

El primer caracter representa el comando que se debe ejecutar, éste puede ser una letra entre “a” y “n” y los siguientes cuatro caracteres que pueden ser entre cero y nueve, representan un número, que es un parámetro opcional para la ejecución del comando.

En la Tabla 3. 1 se indica el formato de las instrucciones.

Tabla 3. 1 Formato de instrucciones

Número de carácter	1	2	3	4	5
Valor Posible	a-n	0-9	0-9	0-9	0-9
Necesario	Si	No	No	No	No
	Comando	Parámetro			

A continuación se escribe en el puerto serial el comando y el parámetro identificados, y se procede a ejecutar el comando que corresponda.

Las letras “a”, “b”, “c”, y “d” se asociaron con el movimiento de los motores, en caso de recibir uno de estos comandos, se ejecuta una de cuatro subrutinas, que según el caso, mueven uno de los motores en un sentido, el número de pasos, indicado por el parámetro.

Los comandos representados por las letras “e” y “f”, definen la velocidad de cada uno de los motores. El valor que se pasa como parámetro en este caso, representa el tiempo en milisegundos que se debe esperar antes de que el motor dé otro paso.

El comando “g” escribe en el puerto serial, el estado del puerto de entrada C, en el que están conectados los fines de carrera.

El comando “j” enciende la fresa y el comando “k” la apaga.

Los comandos “l” y “m”, controlan el encendido del circuito de iluminación.

El comando “n”, apaga las bobinas de los motores para evitar el consumo de energía.

Luego de procesar el comando, se escribe en el puerto serial un mensaje de confirmación “ok”, indicando que se terminó de procesar la instrucción y que el sistema está preparado para recibir otra instrucción.

En la Tabla 3. 2, se presenta una lista de las instrucciones, que puede procesar el sistema micro procesado:

Tabla 3. 2 Lista de instrucciones permitidas

Comando	Ejemplo	Descripción
a	a1000	Mueve el carro contra la fresa (eje Y)*
b	b10	Mueve el carro alejándose de la fresa (eje Y)*
c	c20	Mueve el carro hacia la posición inicial (eje X)*
d	d2000	Mueve el carro hacia la fresa (eje X)*
e	e5	Establece la velocidad del motor(eje Y)**
f	f100	Establece la velocidad del motor (eje X)**
g	g	Recupera el estado de los fines de carrera
h		Reservado
i		Reservado
j	j	Enciende el motor de la fresa
k	k	Apaga el motor de la fresa
l	l	Enciende la iluminación
m	m	Apaga la iluminación
n	n	Desconecta los motores

* el parámetro es el número de pasos que se mueve el motor

** el parámetro será el tiempo en milisegundos que se espera entre cada paso

En la Figura 3. 43 se muestra un diagrama de flujo del proceso que se ejecuta cuando se recibe una instrucción:

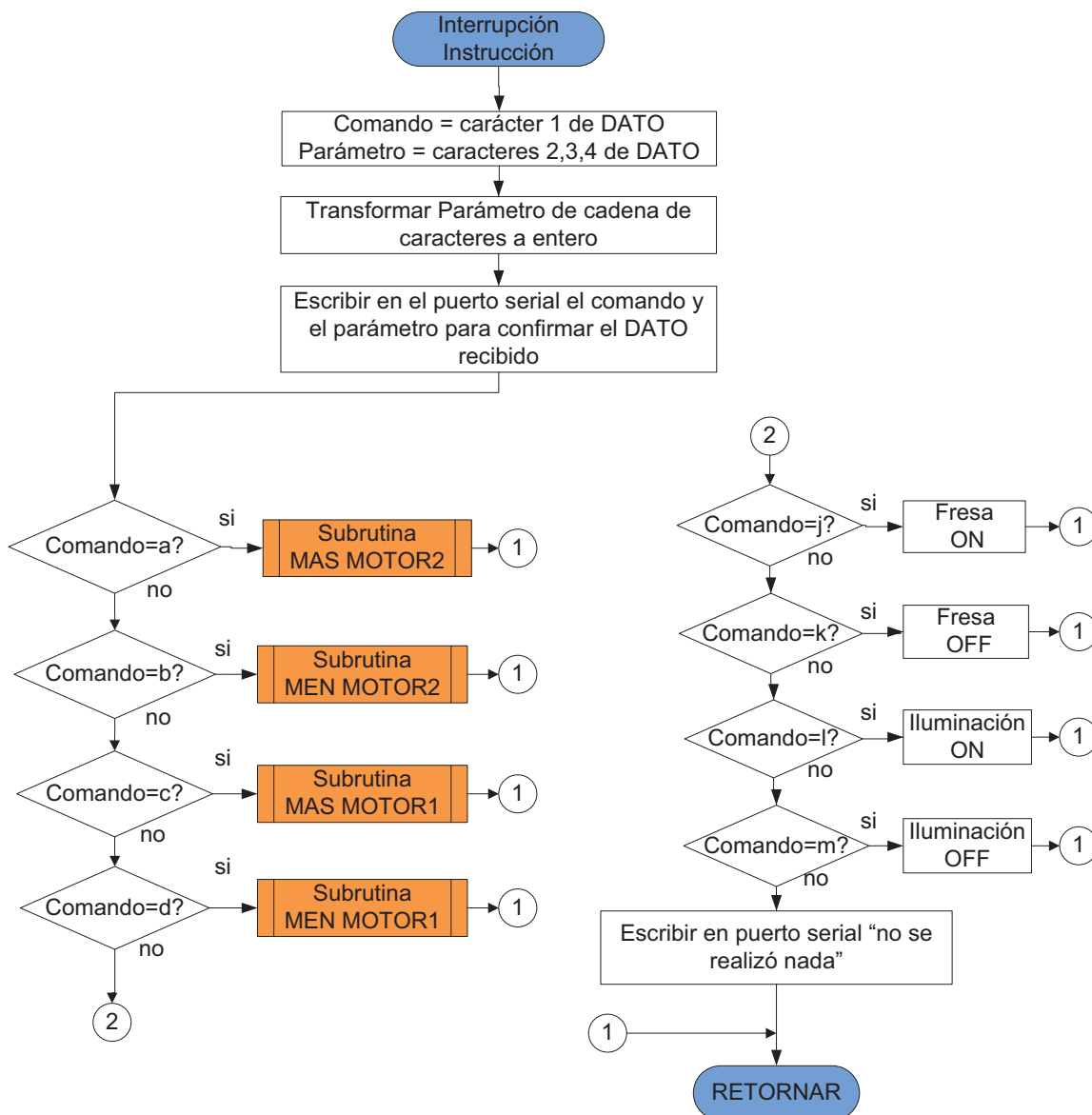


Figura 3. 43 Interrupción de comunicación serial

3.4.1 SUBROUTINA DE MOVIMIENTO DE LOS MOTORES

El micro controlador está conectado a los circuitos para el control de motores por medio del puerto de salida A, el control se realiza aplicando una secuencia de medio paso (Tabla 1. 3). Cuando se recibe un comando para mover uno de los

motores, la ejecución del programa continua en una subrutina, donde se escribe en el puerto la secuencia adecuada, de modo que el motor avance el número de pasos que corresponda. Después de cada paso se espera el número de milisegundos que esté configurado y se continúa con el siguiente paso; de esto dependerá la velocidad de cada motor.

En la Figura 3. 44 se muestra el diagrama del proceso que se ejecuta para mover el motor hacia el fin de carrera; en la Figura 3. 45 se muestra el proceso en el otro sentido:

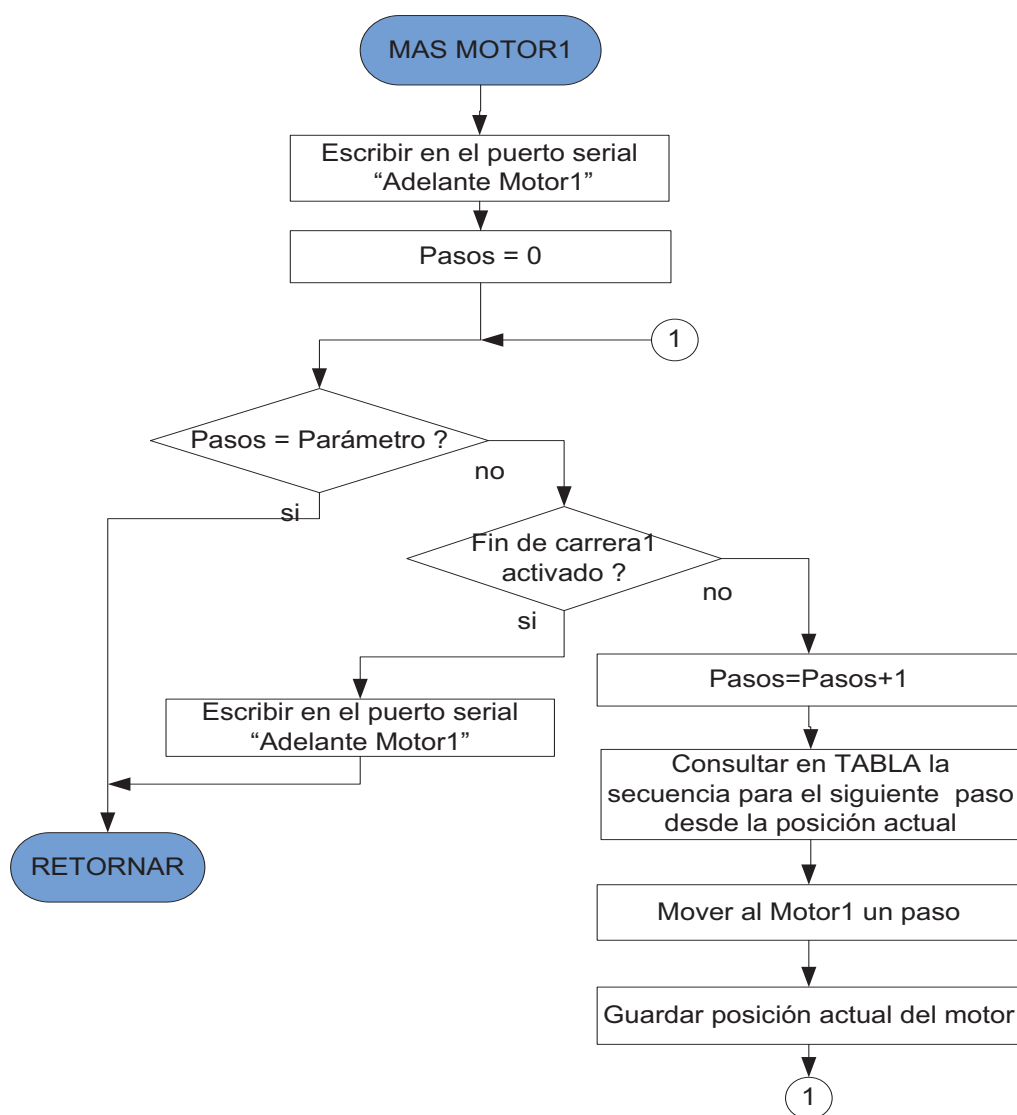


Figura 3. 44 Subrutina para mover motores

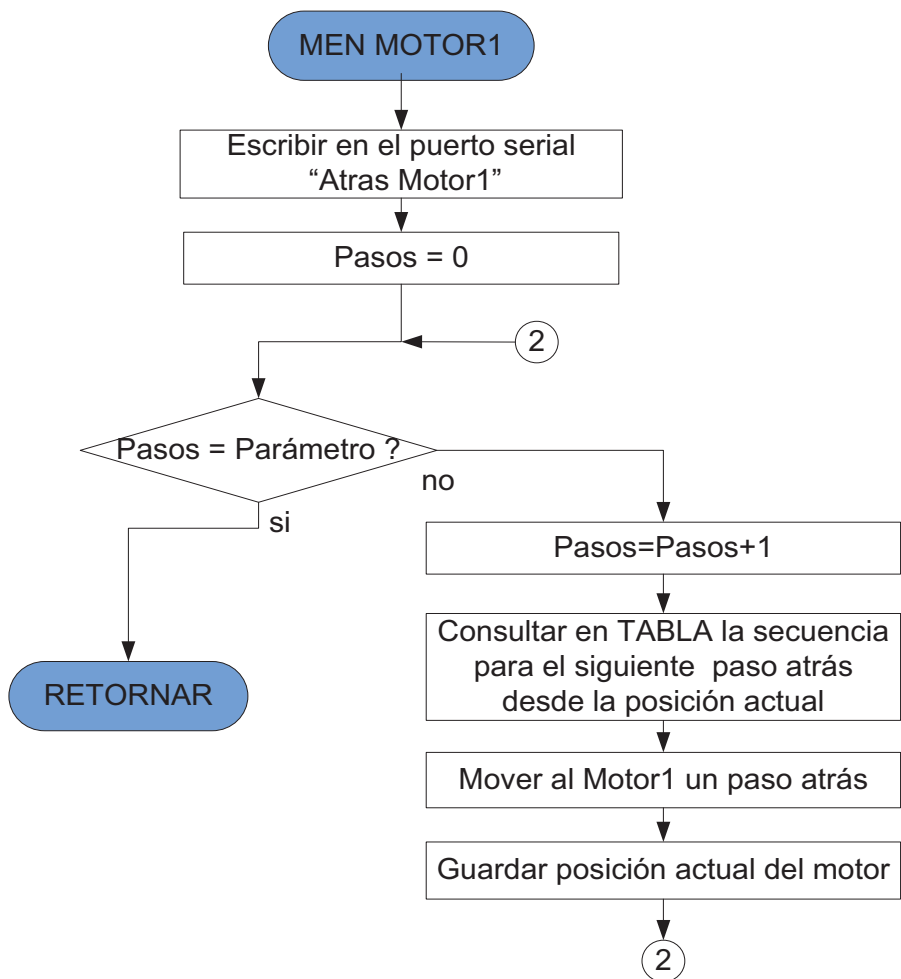


Figura 3. 45 Subrutina para mover motores

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se mostrarán las distintas pruebas realizadas para verificar el correcto funcionamiento de la máquina duplicadora de llaves, partiendo desde el funcionamiento mecánico, hardware, software de soporte hasta obtener el producto final que es el duplicado de una llave plana.

4.1 FUNCIONAMIENTO MECÁNICO

El correcto funcionamiento mecánico es indispensable para garantizar que el duplicado tenga las mismas características de la llave original, de modo que es necesario definir de forma correcta los parámetros mecánicos correspondientes: la distancia de recorrido en cada eje (X, Y), siendo determinado el inicio del recorrido por un fin de carrera y la correcta ubicación de la llave en blanco respecto de la fresa, antes del proceso de corte.

4.1.1 RECORRIDO EJE X

Esta prueba sirve para determinar el rango de recorrido en el eje X, marcando como el inicio del eje un fin de carrera ubicado en el extremo derecho del mismo y como final el tope mecánico como se observa en la Figura 4. 1.

El rango de recorrido del eje X sirve para configurar el software de soporte para no sobrepasar el recorrido en el proceso de duplicado, evitando así inconvenientes mecánicos.

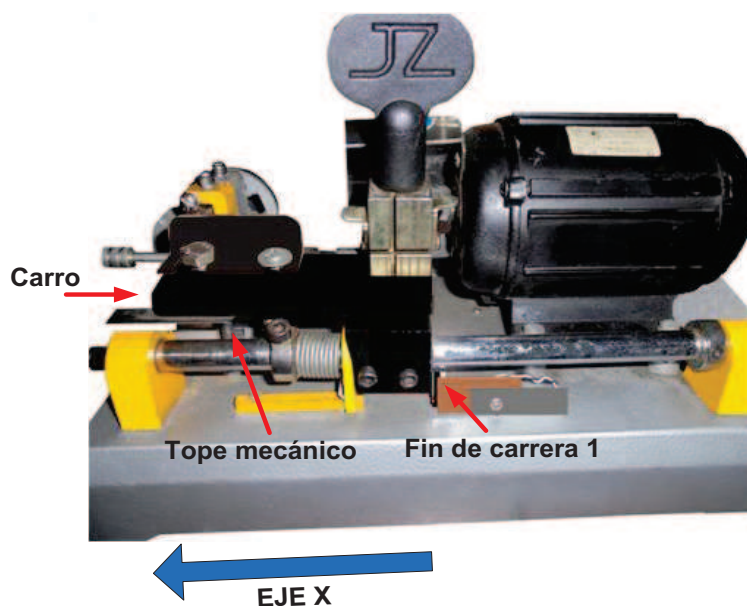


Figura 4. 1 Recorrido del carro sobre el eje X

En la Tabla 4. 1 se muestra una serie de mediciones del recorrido en el eje X, al mover el motor un determinado número de pasos.

Tabla 4. 1 Pruebas de recorrido eje X

Numero de Pasos	Valor Medido (mm)	Valor Teórico (mm)	Error (%)	Desplazamiento (mm)
100	3,7	3,65	1,37%	3,66
200	7,48	7,43	0,67%	6,78(*7,43)
400	14,26	14,86	4,04%	8,1
600	22,36	22,29	0,31%	7,38
800	29,74	29,72	0,07%	7,46
1000	37,2	37,15	0,13%	7,43

* Desplazamiento(mm) teórico para 200 pasos

Todas las medidas fueron tomadas con un calibrador STAINLESS HARDDED 940516 de 200 (mm), que posee una precisión de 0,02 (mm).

El error que se obtiene no es considerable, de modo que a pesar del error se obtiene un duplicado que cumple con las características de la llave original.

4.1.2 RECORRIDO EJE Y

Esta prueba sirve para determinar el rango de recorrido en el eje Y, marcando como el inicio del eje un fin de carrera ubicado bajo el carro y como final el tope mecánico como se observa en la Figura 4. 2.

El rango de recorrido del eje Y sirve para ajustar el software de soporte para no sobrepasar el recorrido en el proceso de duplicado evitando así inconvenientes mecánicos.

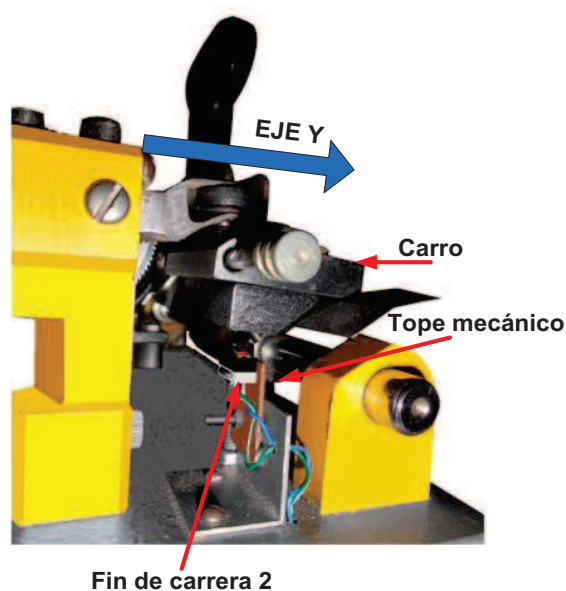


Figura 4. 2 Recorrido del carro sobre el eje Y

En la Tabla 4. 2 se muestra una serie de mediciones del recorrido en el eje Y, al mover el motor un determinado número de pasos.

El error que se obtiene no es considerable, de modo que a pesar del error se obtiene un duplicado que cumple con las características de la llave original.

Tabla 4. 2 Pruebas de recorrido eje Y

Numero de Pasos	Valor Medido (mm)	Valor Teórico (mm)	Error (%)	Desplazamiento (mm)
0	24,66	24,66	0,00%	0
500	25,2	25,28	0,32%	0,54 (*0,62)
1000	25,88	25,9	0,08%	0,68
1500	26,4	26,52	0,45%	0,52
2000	27,1	27,14	0,15%	0,7
2500	27,66	27,76	0,36%	0,52
3000	28,34	28,38	0,14%	0,68
4000	29,66	29,62	0,14%	0,66
5000	30,9	30,86	0,13%	0,62

* Desplazamiento (mm) teórico para 500 pasos

Todas las medidas fueron tomadas con un calibrador STAINLESS HARDDED 940516 de 200 (mm), que posee una precisión de 0,02 (mm).

4.1.3 UBICACIÓN DE LA LLAVE EN BLANCO

Antes de la ubicación de la llave en blanco, el carro debe estar correctamente posicionado frente a la fresa. Para ello se realiza una prueba de posicionamiento del carro, de manera que éste se mueve sobre los ejes (X, Y), partiendo de una posición conocida hasta ubicarse correctamente frente a la fresa como se muestra en la Figura 4. 3.

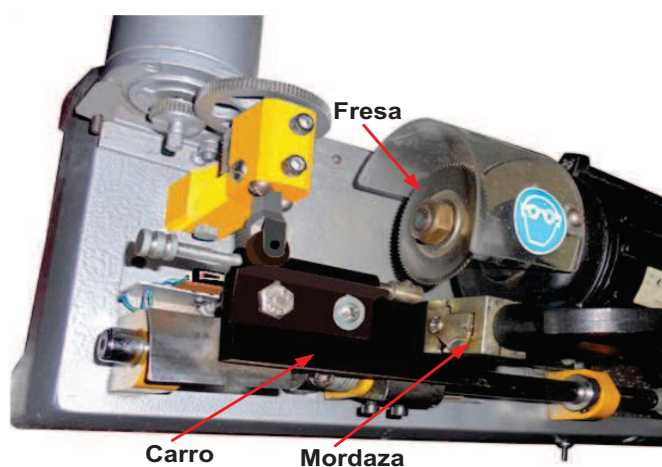


Figura 4. 3 Posicionamiento del carro frente a la fresa

Una vez posicionado correctamente al carro frente a la fresa, se procede a la ubicación de la llave en blanco, ésta debe ser correctamente alineada por el calibre y sujeta fuertemente por la mordaza. Para ello se realiza una prueba de calibración donde se ajusta al calibre de modo que la línea del hombro de la llave ya ubicada coincida con la línea de corte de la fresa como se observa en la Figura 4. 4. Tomar en cuenta que la llave en blanco debe tener la misma acanaladura y longitud que la llave original.

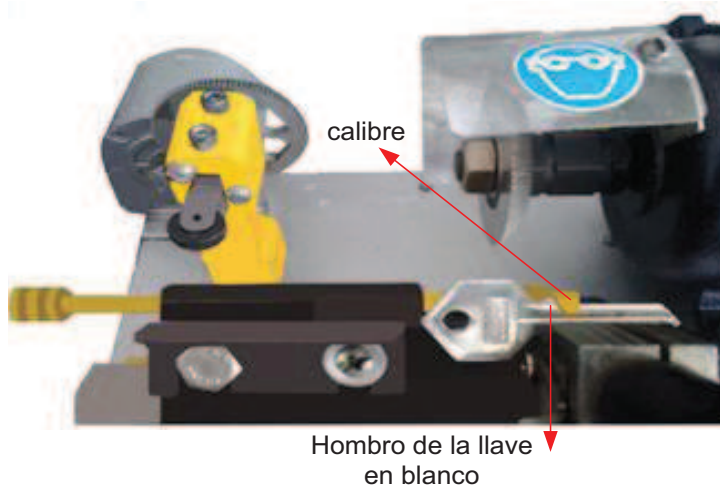


Figura 4. 4 Ubicación de la llave en blanco

4.2 PRUEBAS ELÉCTRICAS

El correcto funcionamiento de los circuitos implementados para el control de los componentes de la máquina duplicadora, es indispensable para garantizar que el duplicado tenga las mismas características de la llave original, de modo que es necesaria la realización de pruebas de funcionamiento de cada circuito.

4.2.1 PRUEBA A CIRCUITO DE MANEJO DE MOTORES PASO A PASO

En la Figura 4. 5 se muestra la placa correspondiente al circuito de manejo del motor paso a paso:



Figura 4. 5 Circuito de manejo motor paso a paso

En la Tabla 4. 3 se muestran las medidas tomadas en los puntos de interés del circuito, con lo que se determina que el resultado es el esperado de acuerdo al diseño.

Tabla 4. 3 Mediciones circuito de manejo de motor paso a paso

Fuentes	Voltaje		Corriente	
V_{CC1}	12.2 V_{DC}		15 mA	
V_{CC2}	5 V_{DC}		2 A (max)	
Opto acoplador	A	B	C	D
$V_{CE(SAT)}$	0.18 V	0.18 V	0.18 V	0.19 V
I_F	9.8 mA	9.7 mA	9.7 mA	9.6 mA
Mosfet	A	B	C	D
V_G	11.8 V	11.78 V	11.8 V	11.81 V
$V_{DS(SAT)}$	0.7 V	0.72 V	0.75 V	0.72 V
I_D	0.93 A	0.93 A	0.95 A	0.93 A
Bobina Motor	A	B	C	D
V	4.2 V	4.2 V	4.2 V	4.1 V
I	0.91 A	0.92 A	0.93 A	0.91 A

Estas medidas se tomaron con un multímetro digital, modelo DT-830D

4.2.2 PRUEBAS DEL CIRCUITO DE CONTROL Y COMUNICACIÓN SERIAL

En la Tabla 4. 4 se muestra una serie de comandos enviados desde el computador al circuito de control a través del circuito de comunicación serial, con lo que se ha comprobado el correcto funcionamiento de los circuitos.

Tabla 4. 4 Serie de comandos enviados al circuito de control

Comando	Puertos Entrada/Salida	Observaciones
a	No hay cambios	Se envía mensaje de confirmación
b	No hay cambios	Se envía mensaje de confirmación
c	No hay cambios	Se envía mensaje de confirmación
d	No hay cambios	Se envía mensaje de confirmación
e	No hay cambios	Se envía mensaje de confirmación
f	No hay cambios	Se envía mensaje de confirmación
g	No hay cambios	Se escribe en el puerto serial el estado del puerto C
j	Puerto PBO en alto	Se activa relé de fresa
k	Puerto PBO en bajo	Se desactiva relé de fresa
l	Puerto PB1 en alto	Se activa relé de iluminación
m	Puerto PB1 en bajo	Se desactiva relé de iluminación
n	Puerto A en bajo	Los motores a pasos están desconectados
a10	Cambio en estado de puerto PBA0,PBA1,PBA2,PBA3	El motor 2 se mueve 10 pasos
b10	Cambio en estado de puerto PBA0,PBA1,PBA2,PBA3	El motor 2 se mueve 10 pasos
c10	Cambio en estado de puerto PBA4,PBA5,PBA6,PBA7	El motor 1 se mueve 10 pasos
d10	Cambio en estado de puerto PBA4,PBA5,PBA6,PBA7	El motor 1 se mueve 10 pasos
e1000	No hay cambios	Se envía mensaje de confirmación
a10	Cambio en estado de puerto PBA0,PBA1,PBA2,PBA3	El motor 2 se mueve 10 pasos, 1 paso cada segundo
f1000	No hay cambios	Se envía mensaje de confirmación
c10	Cambio en estado de puerto PBA4,PBA5,PBA6,PBA7	El motor 1 se mueve 10 pasos, 1 paso cada segundo
e5	No hay cambios	Se envía mensaje de confirmación
a100	Cambio en estado de puerto PBA0,PBA1,PBA2,PBA3	Se percibe un movimiento continuo
f5	No hay cambios	Se envía mensaje de confirmación
c100	Cambio en estado de puerto PBA4,PBA5,PBA6,PBA7	Se percibe un movimiento continuo

4.3 PRUEBAS DE CALIBRACIÓN

Durante la calibración, debido a un error en el software, o a una imagen poco clara, se puede calcular mal la relación entre pixeles y milímetros.

En la Figura 4. 6 ; la línea roja horizontal debería tener la longitud de la plantilla, la imagen no estuvo clara, y por esto no fue procesada correctamente. Esto provocará que la llave duplicada sea más larga que la llave original, y por ello no funcionará.

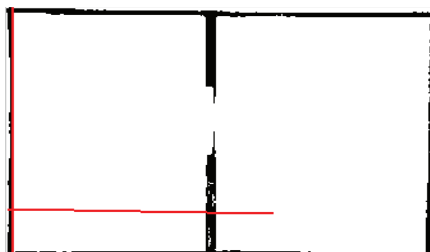


Figura 4. 6 Error de longitud

En el caso de la Figura 4. 7, los cortes en la llave duplicada serán más profundos, debido a que la línea vertical roja no corresponde con el alto de la plantilla.

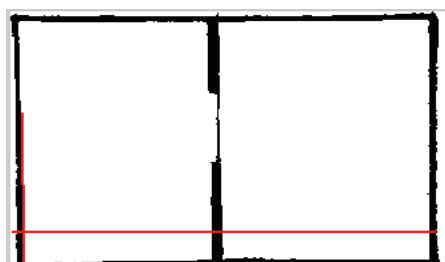


Figura 4. 7 Error de profundidad

4.4 PRUEBAS INTEGRALES

Después de probar de forma individual los componentes tanto mecánicos como de software y hardware, se realizan pruebas integrales en las que intervienen todos los componentes al mismo tiempo para verificar el funcionamiento en conjunto.

En las primeras pruebas realizadas del sistema completo ocurrieron fallas en el duplicado ya que no tenía las características que dictaminaba la llave original, por lo que se tuvo que reajustar el software de soporte. A continuación se muestra las fallas obtenidas en el periodo de pruebas del sistema.

4.4.1 FALLA EN LA PROFUNDIDAD DE CORTE

Después de realizar un duplicado, éste tenía una profundidad de corte mayor que el de la llave original como se observa en la Figura 4. 8, de modo que fue necesario un reajuste en la calibración del software para corregir este error de desplazamiento en el eje Y.

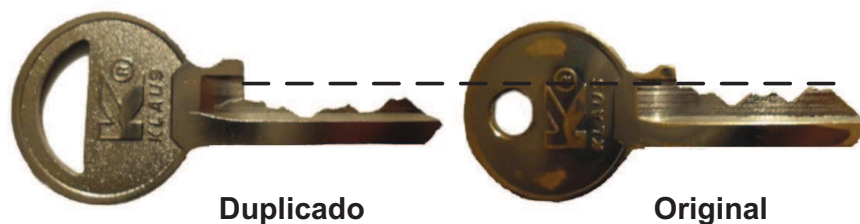


Figura 4. 8 Error de profundidad de corte

4.4.2 FALLA EN LA LONGITUD DE CORTE

Después de realizar un duplicado, éste tenía una longitud de corte menor que el de la llave original como se observa en la Figura 4. 9, de modo que fue necesario un reajuste en la calibración del software para corregir este error de desplazamiento en el eje X.

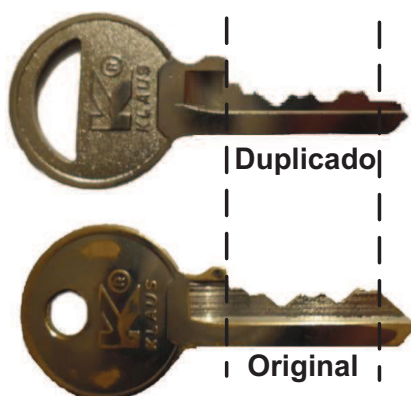


Figura 4. 9 Error en longitud de corte

4.4.3 FALLA DE UNO DE LOS MOTORES PASO A PASO

Esta falla se produce cuando existe la desconexión del motor, falla de la fuente o mal funcionamiento del circuito de manejo del motor paso a paso.

En la Figura 4. 10 se puede ver que a partir de la línea punteada, el corte del duplicado es recto debido a la desconexión del motor paso a paso del eje Y que controla la profundidad de corte.

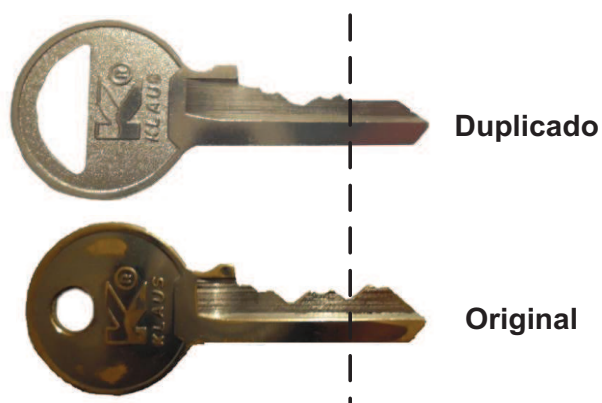


Figura 4. 10 Falla de motores

4.4.4 PRUEBA FINAL

Después de una serie de pruebas de duplicado elaborada, y realizando las correcciones necesarias, se ha conseguido la correcta calibración de la máquina para obtener un producto que cumpla con su función encomendada.

El sistema es capaz de realizar un duplicado de iguales características que la llave original permitiendo abrir la cerradura para la cual la llave fue diseñada. En la Figura 4. 11 se puede observar la concordancia de las muescas del duplicado con la llave original, lo que le otorga el código de giro correcto para abrir la cerradura.

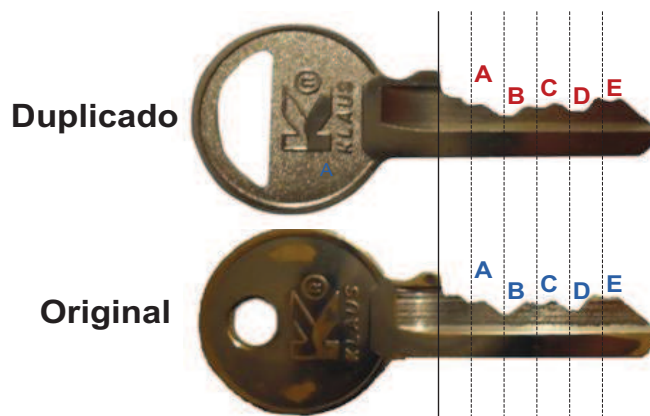


Figura 4. 11 Resultado de duplicado

En la Tabla 4. 5 se muestra las dimensiones de cada muesca tanto de la llave original como del duplicado. Con lo que se comprueba que el duplicado tiene las mismas características que la llave original, es decir contiene el mismo código de giro lo cual le permitirá cumplir con su función.

Tabla 4. 5 Dimensiones de muescas

Profundidad Muesca	Original (mm)	Duplicado (mm)	Error (%)
A	7,3	7,26	0,55%
B	5,74	5,76	0,35%
C	6,98	7,06	1,15%
D	6,22	6,28	0,96%
E	7,84	8	2,04%

Todas las medidas fueron tomadas con un calibrador STAINLESS HARDDED 940516 de 200 (mm), que posee una precisión de 0,02 (mm).

4.5 LISTADO DE ELEMENTOS Y COSTO

A continuación se detalla el costo de los elementos utilizados para el desarrollo del proyecto.

Tabla 4. 6 Placa circuito de control y placa circuito de comunicación serial

ELEMENTO	UNIDAD	COSTO/U (USD)	COSTO (USD)
Micro ATmega16	1	7	7
Sócalo de 40 pines	1	0,5	0,5
Max 232	1	0,8	0,8
Sócalo de 16 pines	1	0,25	0,25
DB9 H para montaje en placa	1	0,6	0,6
Extensión DB9 M/H	1	4	4
Resistencias 1/4 W	7	0,02	0,14
Relé 5 V 12 A DC	2	0,8	1,6
Diodo 1N4007	2	0,15	0,3
Diodo Led	5	0,1	0,5
Capacitor electrolítico 1 uF 50 V	5	0,2	1
Capacitor cerámico 104	1	0,1	0,1
Transistor 2N3904	2	0,15	0,3
Conector Molex 5 pines	2	0,6	1,2
Conector Molex 4 pines	2	0,6	1,2
Conector Molex 2 pines	5	0,3	1,5
Conector Sil 2 pines	1	0,5	0,5
Baquelita doble cara 10x10	1	1,25	1,25
Papel termo transferible	1	1	1
Cloruro férrico	2	0,3	0,6
Estaño [m]	1	0,6	0,6
Subtotal			24,94

Tabla 4. 7 Placas circuitos de manejo de motores paso a paso

ELEMENTO	UNIDAD	COSTO/U (USD)	COSTO (USD)
Resistencias 1/4 W	28	0,02	0,56
Opto transistor 4N25	8	0,5	4
Sócalo de 6 pines	8	0,2	1,6
Mosfet IRF520	8	0,9	7,2
Diodo Led 3 mm	12	0,1	1,2
Conector Molex 6 pines	2	0,6	1,2
Conector Molex 5 pines	2	0,6	1,2
Conector Molex 2 pines	4	0,3	1,2
Baquelita doble cara 20x10	1	2,5	2,5
Papel termo transferible	2	1	2
Cloruro férrico	2	0,3	0,6
Estaño [m]	1	0,6	0,6
Subtotal			23,86

Tabla 4. 8 Costos de materiales utilizados en instalación

ELEMENTO	UNIDAD	COSTO/U (USD)	COSTO (USD)
Cable UTP Categoría 5 (12 hilos AWG 24) [m]	2	2	4
Cable multifilar AWG 20	4	1	4
Switch 2 posiciones 10A	1	0,9	0,9
Pernos y tuercas de 3/16"	30	0,04	1,2
Brocas (1/32",3/16")	1	2	2
Tira de 12 conectores de 5A	2	2	4
Varios (silicón, cinta, pintura, estaño, lija)	1	10	10
Subtotal			26,1

Tabla 4. 9 Costos elementos principales

ELEMENTO	UNIDAD	COSTO/U (USD)	COSTO (USD)
Máquina Duplicadora Manual	1	395	395
Adaptación mecánica de la máquina	1	250	250
Cubículo Adq. Imagen en acrílico	1	30	30
Partes adicionales en acrílico	1	30	30
Luz para Cubículo Adq. Imagen	1	15	15
Webcam	1	20	20
Motor paso a paso unipolar	2	15	30
Fuente de 5V DC, 500mA	1	3	3
Fuente de 12V DC, 500mA	1	7	7
Fuente de 5V DC, 2.5A	2	9	18
Fusible y porta fusible 6A	1	0,6	0,6
Fin de carrera	2	0,5	1
Convertidor USB/Puerto serial	1	15	15
Llaves en blanco	50	0,18	9
Subtotal			823,6

A continuación, en la Tabla 4. 10 se muestra el costo total del proyecto, que involucra el costo de los materiales y elementos empleados como también el costo de ingeniería.

Para el costo de ingeniería se toma como referencia un valor de \$10 por hora de trabajo. El proyecto tuvo una duración de 12 meses, teniendo como promedio un total de 50 horas de trabajo mensual, lo cual da un costo por ingeniería de \$6000.

Tabla 4. 10 Totales

COSTOS DEL PROYECTO	TOTAL (USD)
Costo materiales y elementos	898,5
Costo ingeniería	6000
COSTO TOTAL	6898,5

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se incluyen algunas conclusiones y recomendaciones que se han obtenido a partir del desarrollo de este proyecto.

5.1 CONCLUSIONES

- ✓ Para automatizar un proceso, es indispensable conocer el tipo de trabajo a realizar, los movimientos y limitaciones mecánicas del sistema de modo que se pueda coordinar cada respuesta mecánica con una acción de control.
- ✓ En un sistema que se va a operar desde un computador, es importante asegurar la calidad de la comunicación entre el computador y el sistema micro procesado, ya que la no ejecución de instrucciones, altera el resultado esperado, pudiendo provocar pérdida de recursos, tiempo, materiales y eventualmente daños personales.
- ✓ Al diseñar un sistema complejo, conviene que se implemente de forma modular, esto facilita la identificación y corrección de errores, siempre que se asegure la correcta interrelación entre cada módulo y que en lo posible cada uno se pueda operar de forma independiente. De este modo se tendrá la capacidad de repetir algún proceso si se considera conveniente.
- ✓ No siempre es necesario, implementar un sistema de control en lazo cerrado, en la presente aplicación se ha visto que los resultados obtenidos son aceptables con un sistema de control en lazo abierto, facilitando la implementación del sistema y reduciendo el costo en la construcción.

- ✓ La presente aplicación se desarrolló como un sistema en lazo abierto, se observó que en este caso es importante calibrar el sistema previamente, y tomar medidas precisas, antes de ejecutar cualquier acción, ya que no se tiene realimentación, se debe asegurar que las características del sistema no cambien.
- ✓ El sistema ofrece en cada duplicado, características similares a las de la llave original, esto permite al duplicado cumplir con la tarea de abrir el cerrojo que abre la llave original. Es decir el sistema entrega el código de giro de la llave original al duplicado.
- ✓ La interfaz hombre máquina que se desarrolló para la aplicación es amigable y de fácil manejo para cualquier usuario, brindando las herramientas necesarias para su correcta utilización.

5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ En una aplicación cuyo control se realiza desde un computador, se recomienda trabajar con un equipo dedicado sólo para la aplicación, de modo que ningún otro proceso interfiera en la ejecución del programa de control, disponiendo de la totalidad de los recursos del equipo.
- ✓ La superficie de apoyo, al realizar trabajos de precisión, se recomienda que sea rígida, plana y horizontal para que no afecte con la operación de la máquina, y obtener un trabajo final con las características requeridas.
- ✓ Debido a las limallas que se generan al realizar el corte de una llave, se recomienda la limpieza periódica para evitar inconvenientes mecánicos generados por la acumulación de limalla en las partes móviles y fines de carrera de la máquina.
- ✓ El presente proyecto cuenta con un cubículo de adquisición de imagen que mantiene un ambiente controlado de iluminación, se recomienda que el lugar de operación no cuente con una excesiva iluminación o fuentes de luz cercanas al cubículo para no afectar el proceso de adquisición de la imagen.
- ✓ Antes del proceso de duplicado, se debe revisar que la llave en blanco tenga la misma acanaladura y longitud que la llave original.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. Phillips, The Complete Book of Locks and Locksmithing, Sexta Edición ed., Mc Graw Hill.
- [2] «www.itescam.edu.mx,» [En línea]. Available: www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r25517.DOC. [Último acceso: 15 Abril 2012].
- [3] «www.elprisma.com,» 15 Abril 2012. [En línea]. Available: http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/controlnumericocnc/default12.asp .
- [4] «robots-argentina.com.ar,» [En línea]. Available: http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm. [Último acceso: 15 Abril 2012].
- [5] «MultiMania,» [En línea]. Available: <http://usuarios.multimania.es/udtecno/mecanismos/engranajes.PDF>.
- [6] ATMEL, «8-bit AVR Microcontroller with 16K/32K/64k Bytes In-System Programmable Flash,» [En línea]. Available: <http://www.atmel.com/Images/doc8011.pdf>.
- [7] «Professional Relay Manufactured ASIASON,» [En línea]. Available: <http://www.chinarelay.com/pcb-relay/pcb-relay-JQC-3F-T73.html>.
- [8] «FAIRCHILD Semiconductor,» [En línea]. Available: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/2N3904.pdf>.
- [9] OMRON ELECTRONICS, S.A., «Guia rapida de relés SSRs,» [En línea]. Available: <http://www.reitec.es/V2/Pdf/documentacion6.pdf>.
- [10] MAXIM, «+5V RS-232 Transceivers,» [En línea]. Available: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/73074/MAXIM/MAX232.html>.
- [11] «SGS-THOMSON Microelectronics,» [En línea]. Available: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/SGSThomsonMicroelectronics/mXqswq.pdf>.
- [12] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR, [En línea]. Available: <http://www.micropik.com/PDF/4N25.pdf>.
- [13] KEC, [En línea]. Available: http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/400/249955_DS.pdf.
- [14] I. Escalona, Introducción al Control Numérico Computarizado, México: UPIICSA – IPN.
- [15] «www.elprisma.com,» [En línea]. Available: http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/mecanizadodematerialescnc/default5.asp. [Último acceso: 15 Abril 2012].

- [16] «<http://www.alldatasheet.com>,» [En línea]. Available: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/73074/MAXIM/MAX232.html>.
- [17] N. Otsu, «A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms,» de *Man, and Cybernetics*.

ANEXOS

ANEXO 1: Diagramas de Circuitos

ANEXO 2: Manual de Usuario

ANEXO 3: Medición de Fuerza Mecánica

ANEXO 1

DIAGRAMAS DE CIRCUITOS

A continuación se presentan las placas de circuitos, que se construyeron, para este proyecto, estos circuitos se describen con detalle en la sección 2.2 (Diseño del sistema de control).

CIRCUITO DE COMUNICACIÓN SERIAL

En la Figura A1. 1, se muestra el diagrama del circuito de comunicación serial:

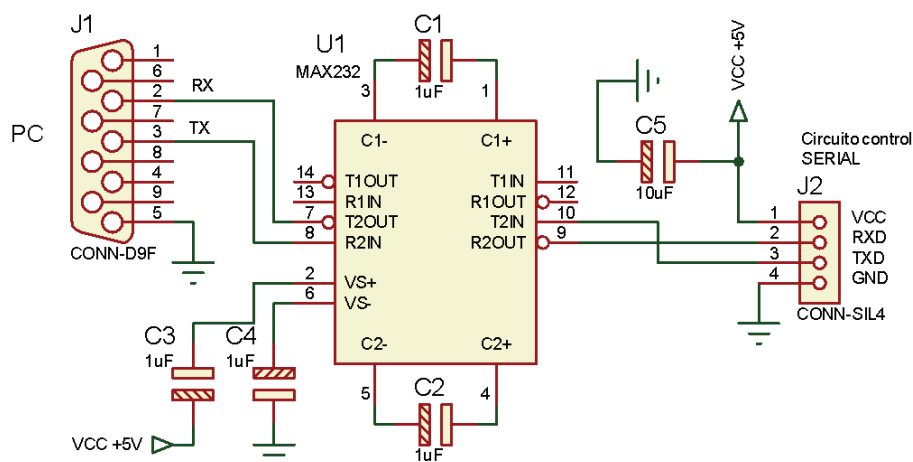


Figura A1. 1 Circuito de comunicación serial

En la Figura A1. 2 a la derecha se observa la distribución de los elementos del circuito de comunicación serial, según se encuentran en la placa que se desarrolló; a la izquierda se muestra el circuito impreso de la misma placa.

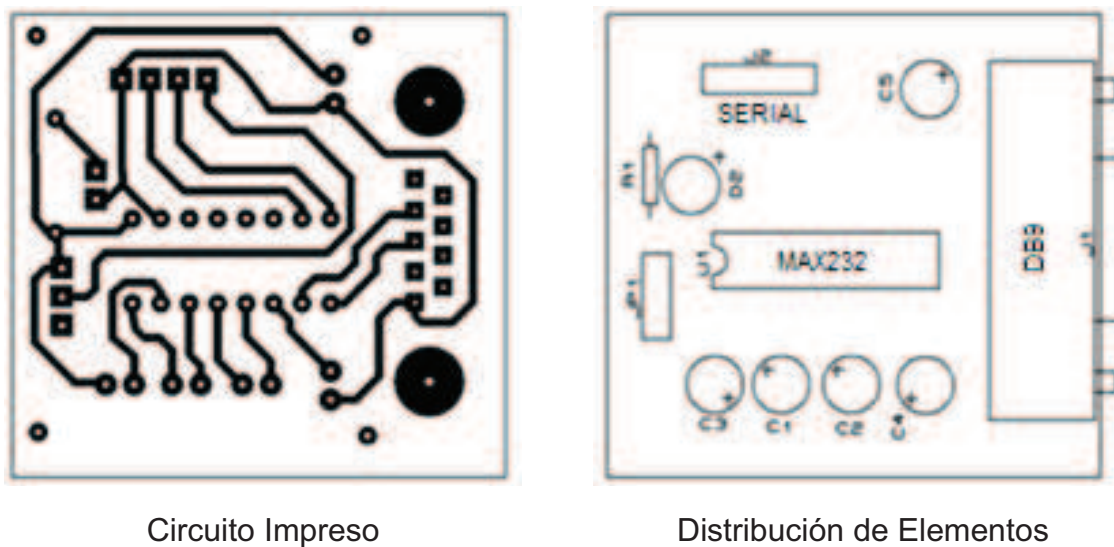


Figura A1. 2 Placa de comunicación serial

En la Tabla A1. 1 se indica los elementos que forman la placa de comunicación serial.

Tabla A1. 1 Lista de elementos

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
R1	330 Ω
D2	Diodo LED
C1, C2, C3, C4	1 μ F, 50 V
C5	10 μ F, 50 V
U1	MAX232
J1	Conector DB9 Hembra
SERIAL	Conector Molex 4 pines
JP1	Jumper

CIRCUITO DE CONTROL

En la Figura A1. 3, se muestra el diagrama del circuito de control:

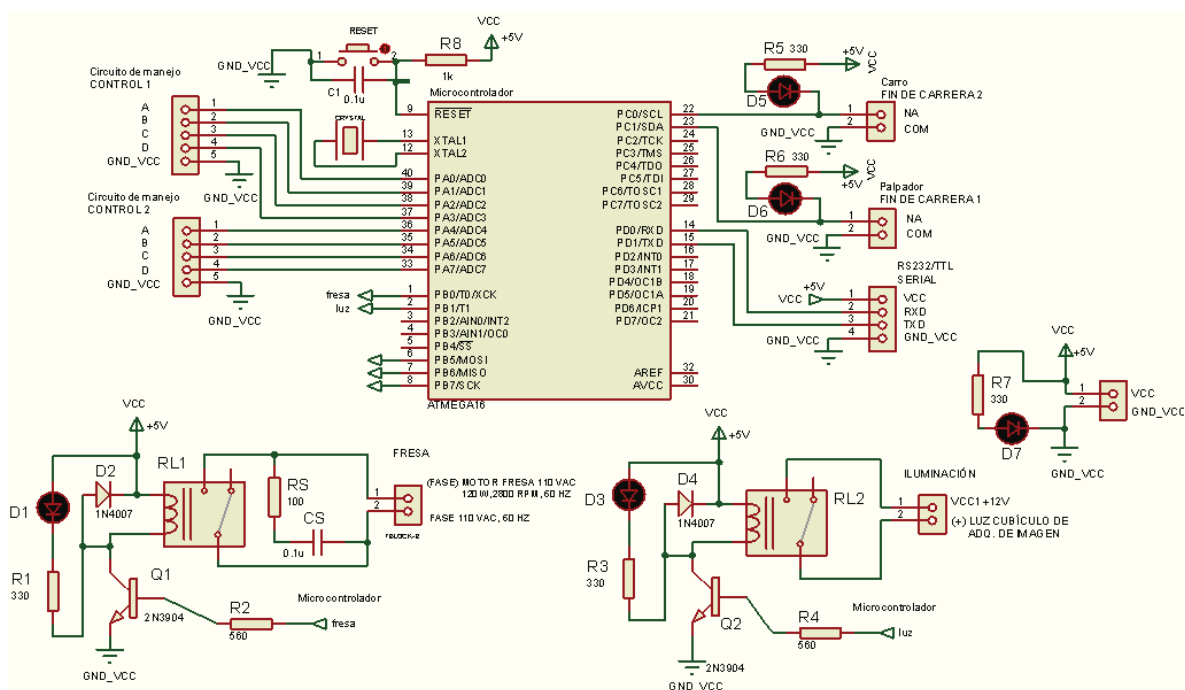


Figura A1. 3 Circuito de control

En la Figura A1. 4 se observa el circuito impreso que se realizó para la placa de control.

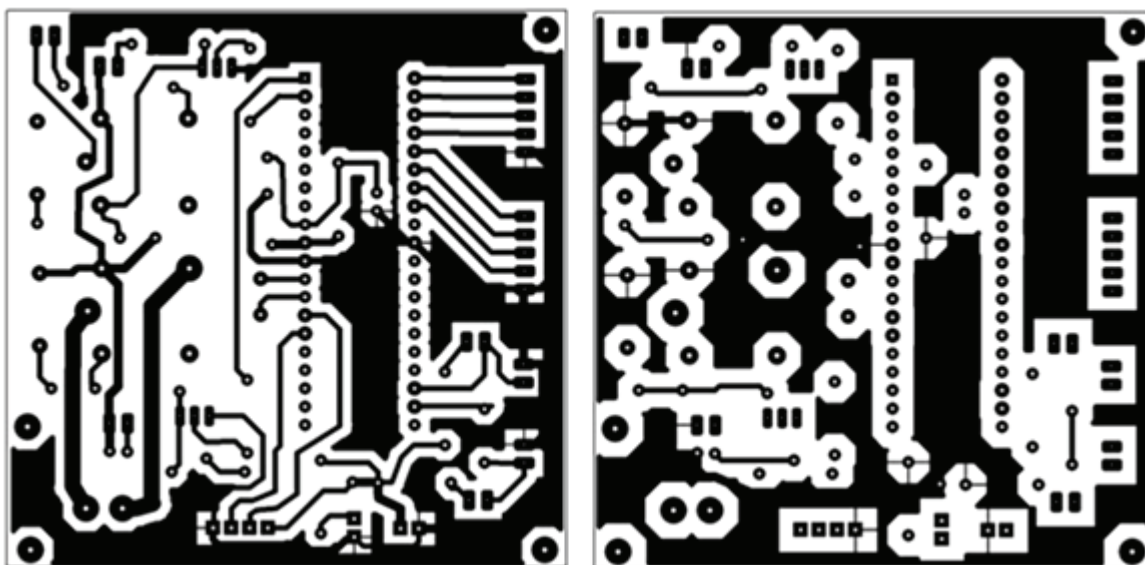


Figura A1. 4 Circuito impreso de placa de control

En la Figura A1. 5 se observa la distribución de los elementos en la placa, en la Tabla A1. 2 se indica los elementos que componen la placa de control.

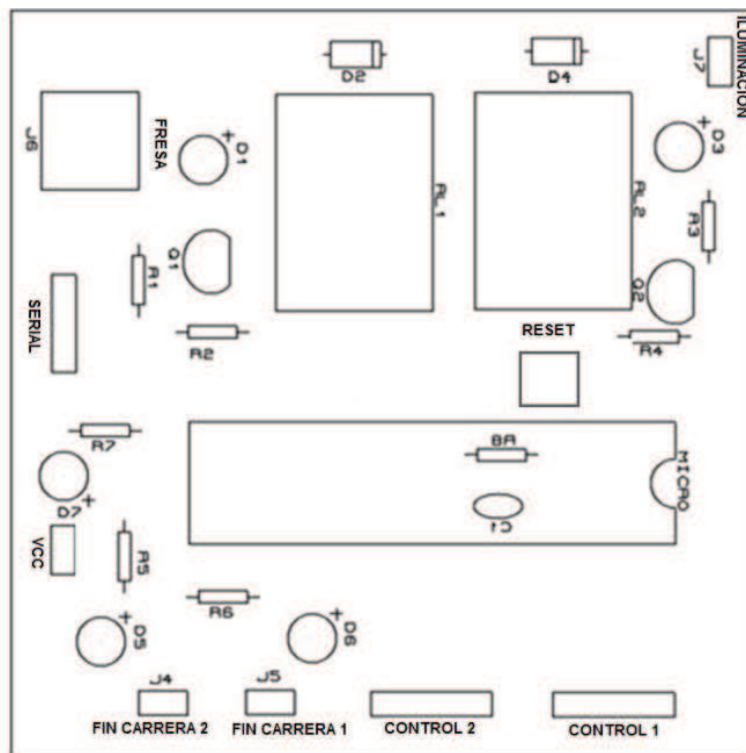


Figura A1. 5 Distribución de elementos de placa de control

Tabla A1. 2 Lista de elementos

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
R1, R3, R5, R6, R7	330 Ω
D1, D3, D5, D6, D7	Diodo LED
R2, R4	560 Ω
Q1, Q2	2N3904
RL1, RL2	RELÉ, 10 A DC
D2, D4	1N4007
R8	1 K Ω
C1	0.1 μ F
MICRO	ATmega16
RESET	PULSADOR
CONTROL 1	Conector Molex 5 pines
CONTROL 2	Conector Molex 5 pines
FIN CARRERA 1	Conector Molex 2 pines
FIN CARRERA 2	Conector Molex 2 pines
SERIAL	Conector Molex 4 pines
FRESA	PCB 2 pines
ILUMINACIÓN	Conector Molex 2 pines
VCCS	Conector Molex 2 pines

CIRCUITO MANEJO MOTOR PASO A PASO

En la Figura A1. 6, se muestra el diagrama del circuito de manejo de motor paso a paso:

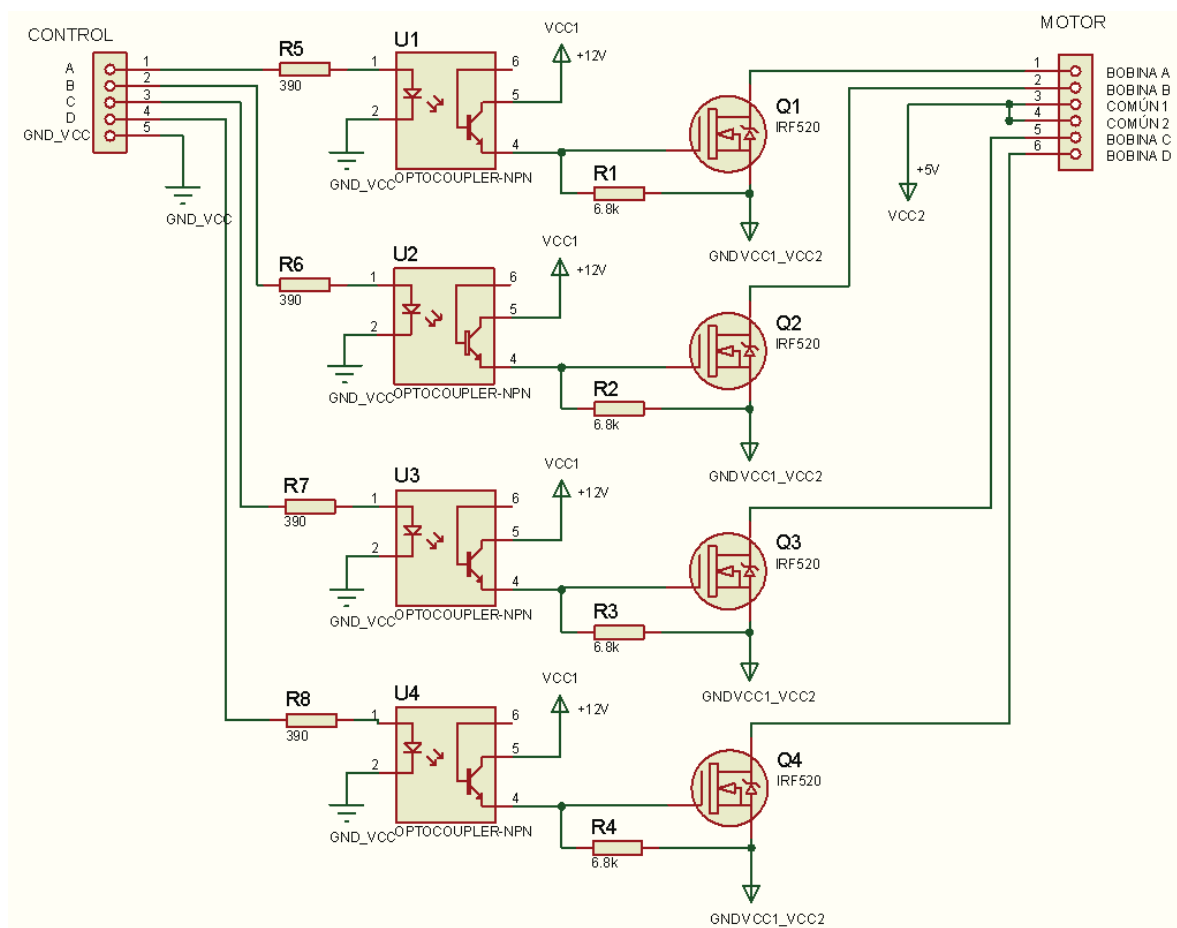


Figura A1. 6 Circuito de manejo de motor paso a paso

En la Figura A1. 7 se observa el circuito impreso que se realizó para las placas de manejo de los motores paso a paso.

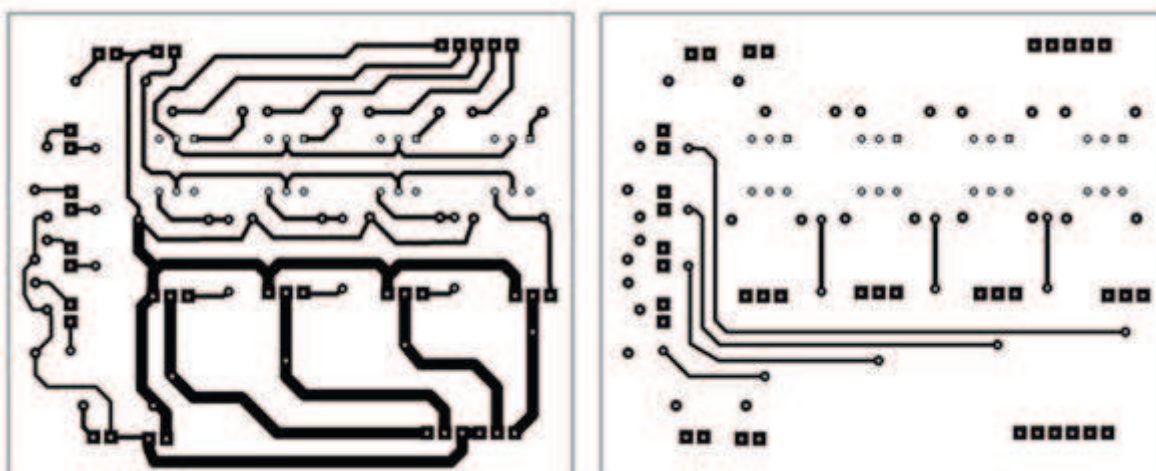


Figura A1.7 Placa de manejo de motor paso a paso

En la Figura A1.8 se observa la distribución de elementos en la placa de manejo de motor paso a paso.

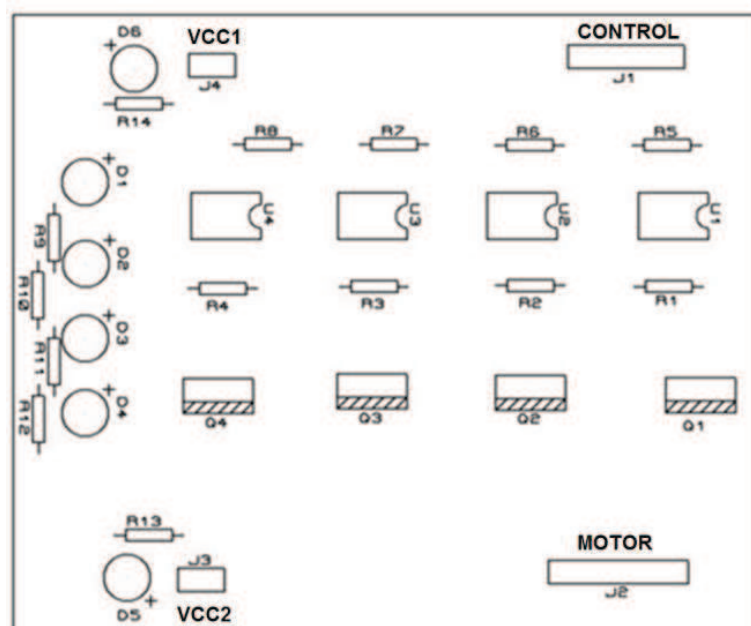


Figura A1.8 Distribución de elementos de placa de manejo de motor paso a paso

En la Tabla A1. 3 se indica los elementos que contienen cada placa de manejo de los motores paso a paso.

Tabla A1. 3 Lista de elementos

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
R1, R2, R3, R4	6.8 K Ω
R5, R6, R7, R8	390 Ω
U1, U2, U3, U4	4N25
Q1, Q2, Q3, Q4	IRF520
R9, R10, R11, R12, R13, R14	330 Ω
D1, D2, D3, D4, D5, D6	Diodo LED
CONTROL	Conector Molex 5 pines
MOTOR	Conector Molex 6 pines
VCC1	Conector Molex 2 pines
VCC2	Conector Molex 2 pines

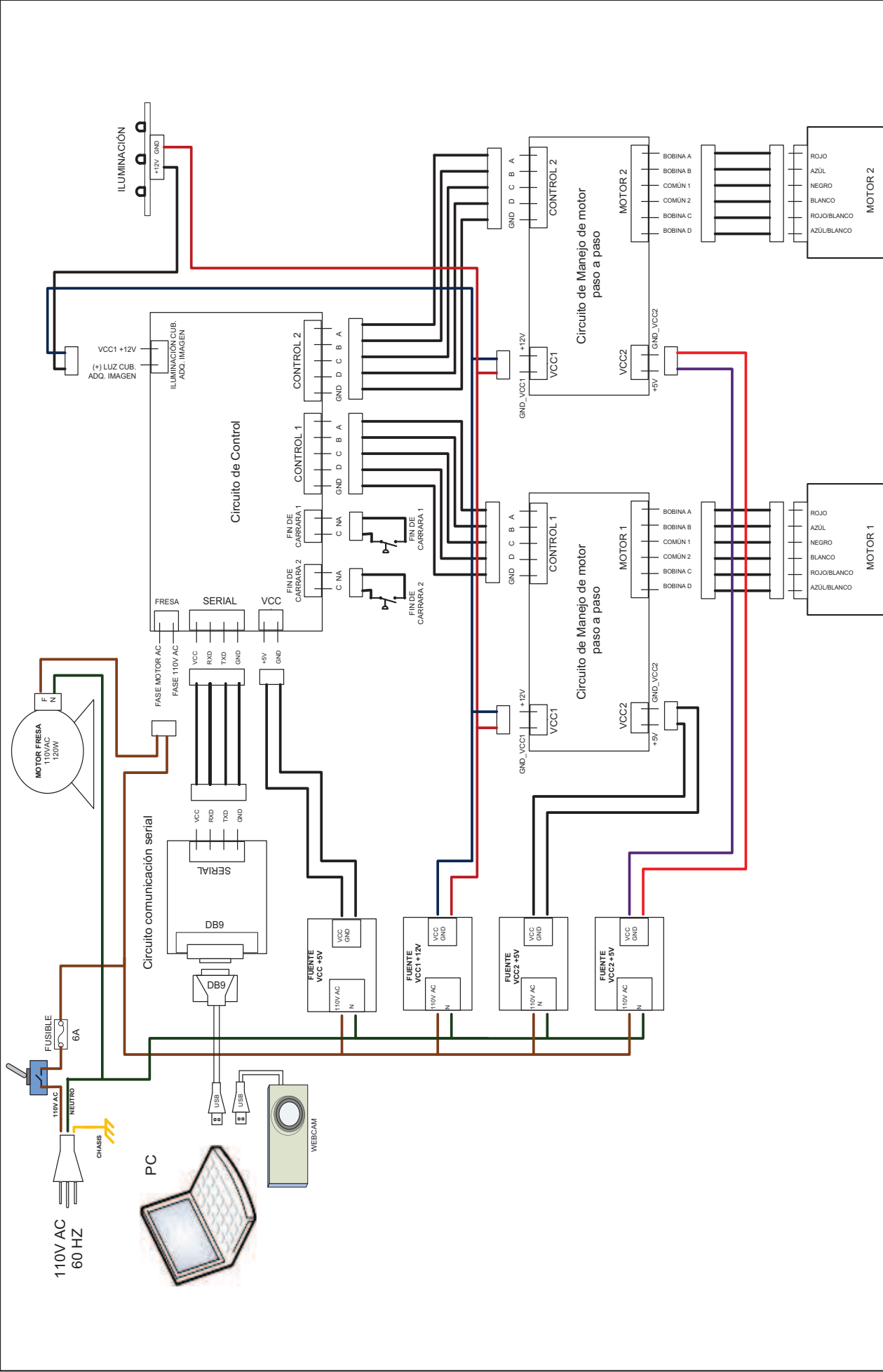


Figura A1. 9 Diagrama de conexiones
Diagrama de conexiones de la máquina duplicadora de llaves

ANEXO 2

MANUAL DE USUARIO

PARTES DE LA MÁQUINA

En la Figura A2. 1 se muestran las diferentes partes de la máquina duplicadora de llaves.

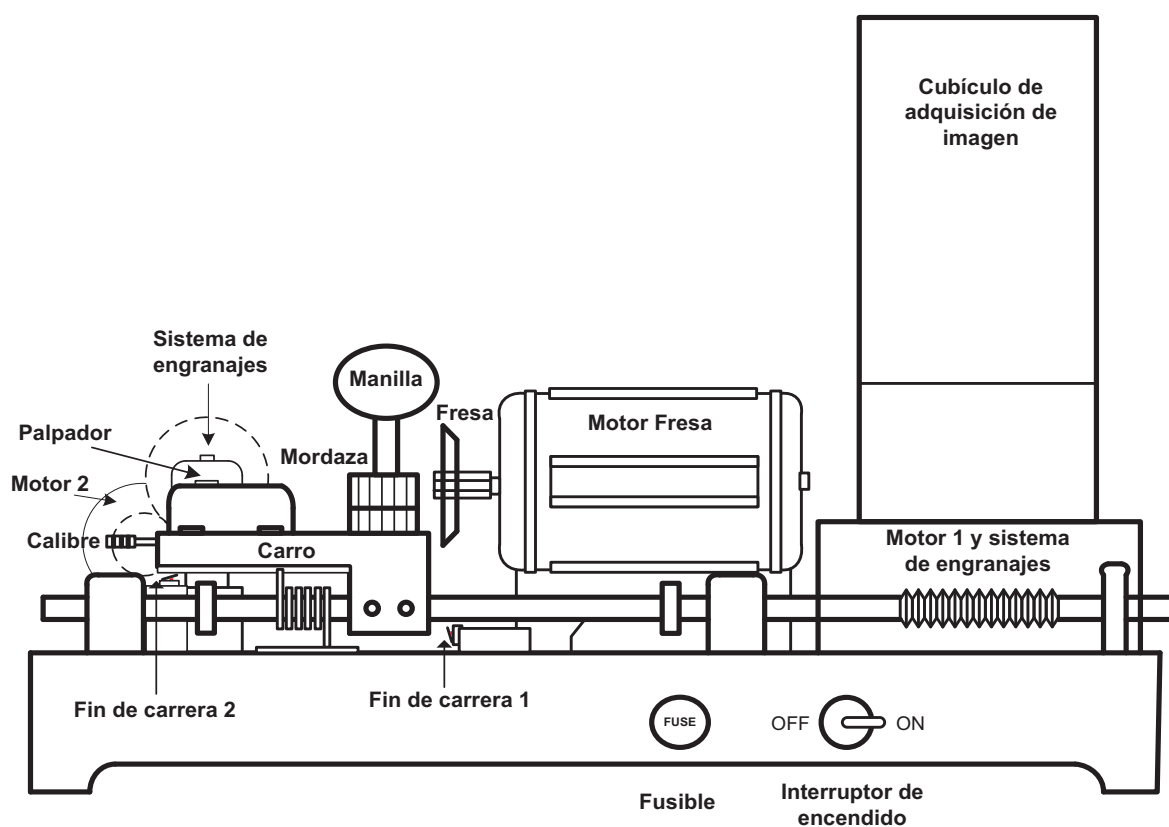


Figura A2. 1 Partes de la máquina

En la se Figura A2. 2 observa las partes del cubículo de adquisición de imagen.

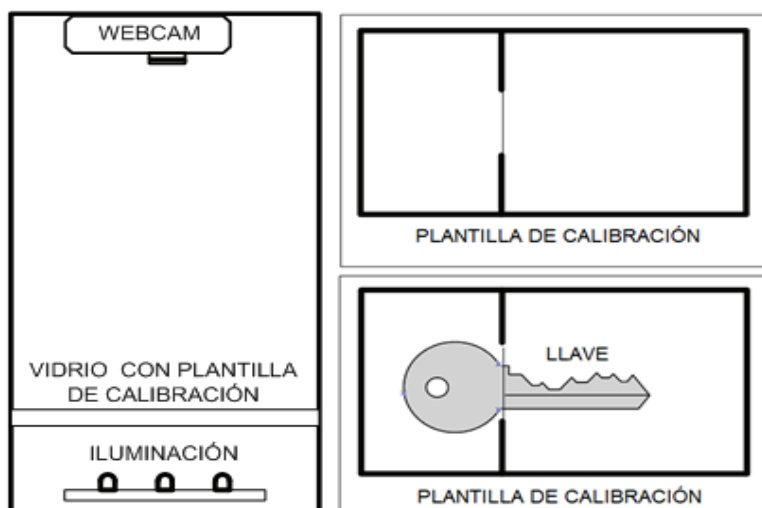


Figura A2. 2 Cubículo de adquisición de imagen

CONEXIONES

Antes de utilizar la máquina, se debe realizar las siguientes conexiones, las mismas se ilustran en la Figura A2. 3

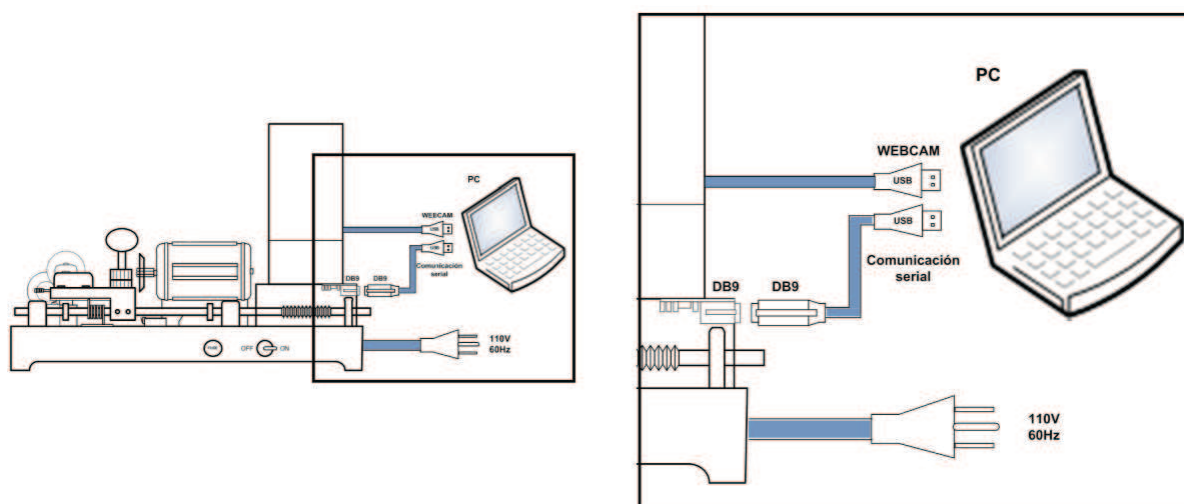


Figura A2. 3 Conexiones

ENERGÍA:

La máquina se debe conectar a una toma de corriente eléctrica de 110 V 60 Hz. (Ver Figura A2. 3)

CÁMARA DE VIDEO:

Conectar el cable USB del cubículo de adquisición de imágenes, a un puerto del computador desde donde se va a operar la máquina. (Ver Figura A2. 3)

COMUNICACIÓN SERIAL

Se debe conectar el puerto serial de la máquina, a un puerto USB del computador desde donde se va a operar la máquina. Se debe utilizar un convertidor USB-RS232. (Ver Figura A2. 3)

UBICACIÓN DE LA LLAVE EN BLANCO

Para realizar un duplicado se debe ubicar una llave en blanco como se indica en la Figura A2. 4; se debe ubicar de modo que el palpador se encuentre en el hombro de la llave.

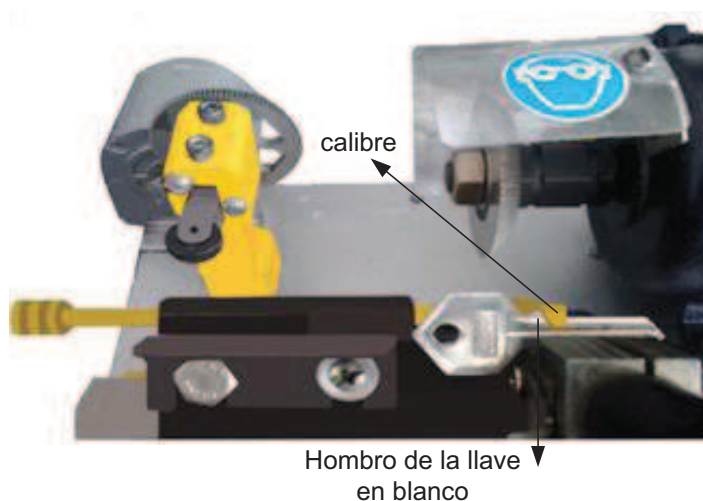


Figura A2. 4 Ubicación de la llave en blanco

UBICACIÓN DE LA LLAVE ORIGINAL

Colocar la llave que se desea duplicar (llave original), dentro del cubículo de adquisición de imágenes como se indica en la Figura A2. 2.

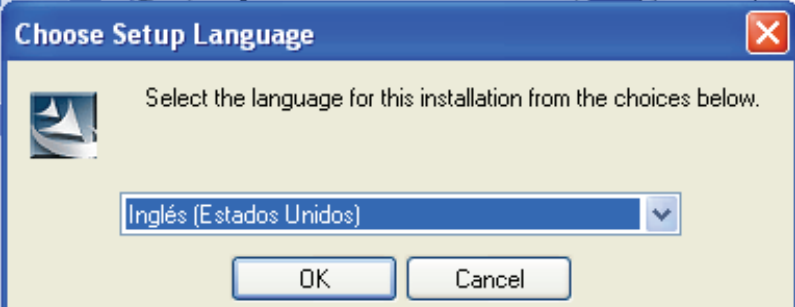
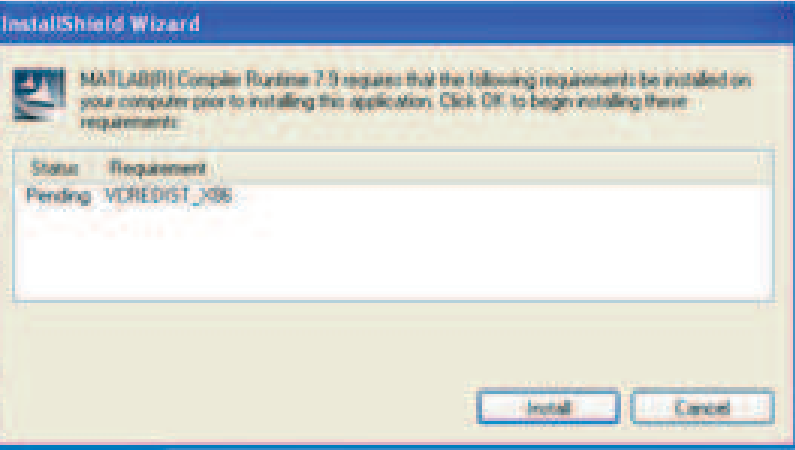

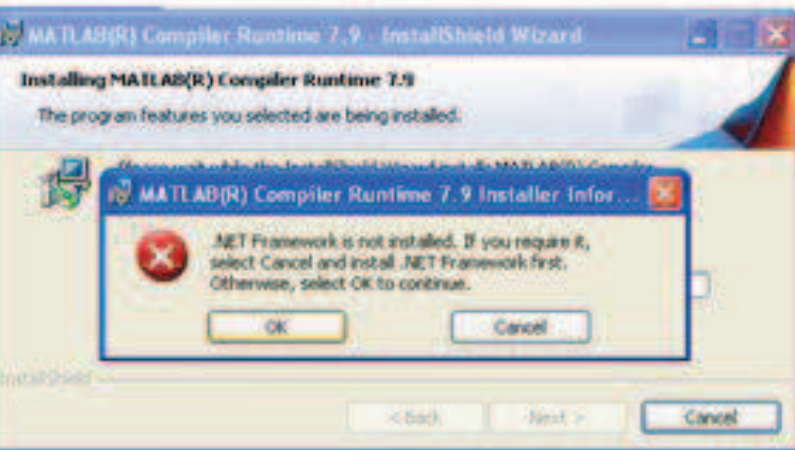
SOFTWARE DE SOPORTE

A continuación se describe los pasos a seguir, necesarios para utilizar la máquina duplicadora de llaves.



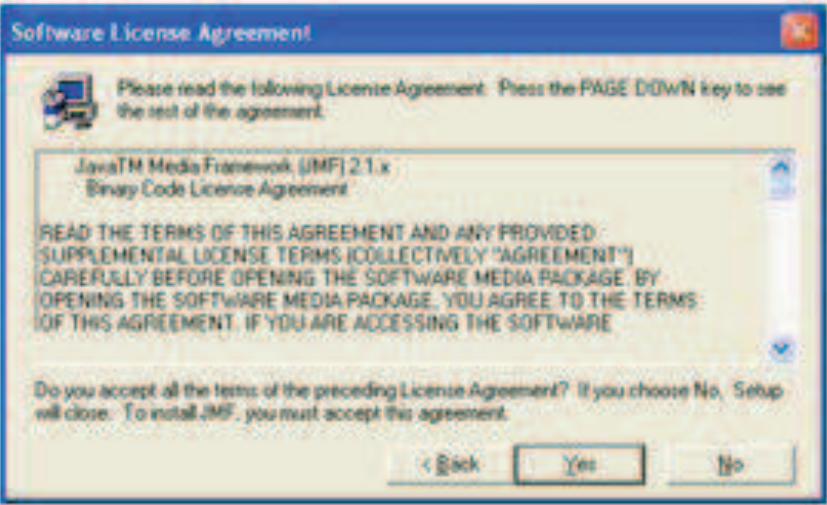
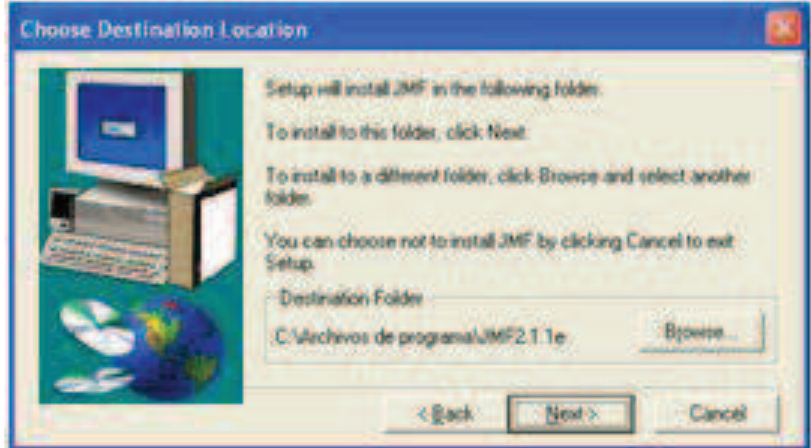
El computador que se utilice para operar la máquina debe tener instalado el sistema operativo Windows XP, o superior.

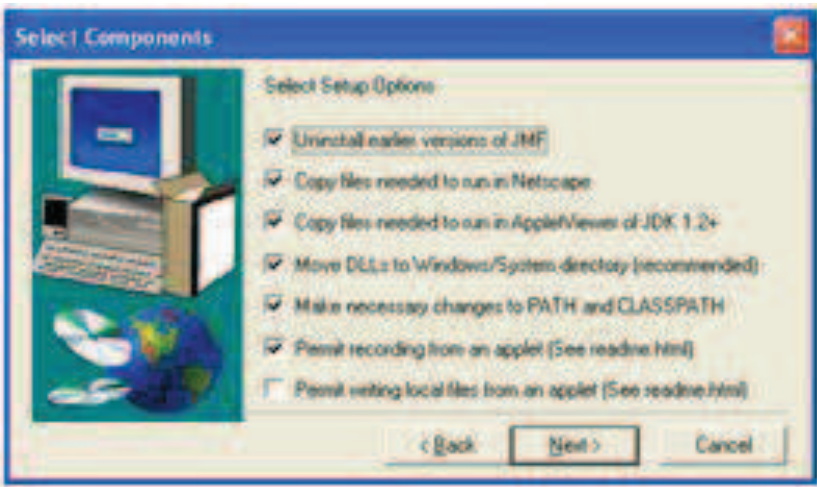
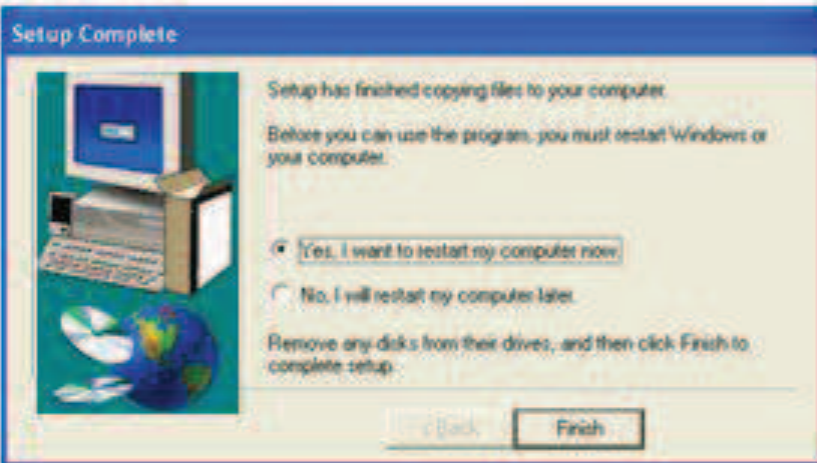
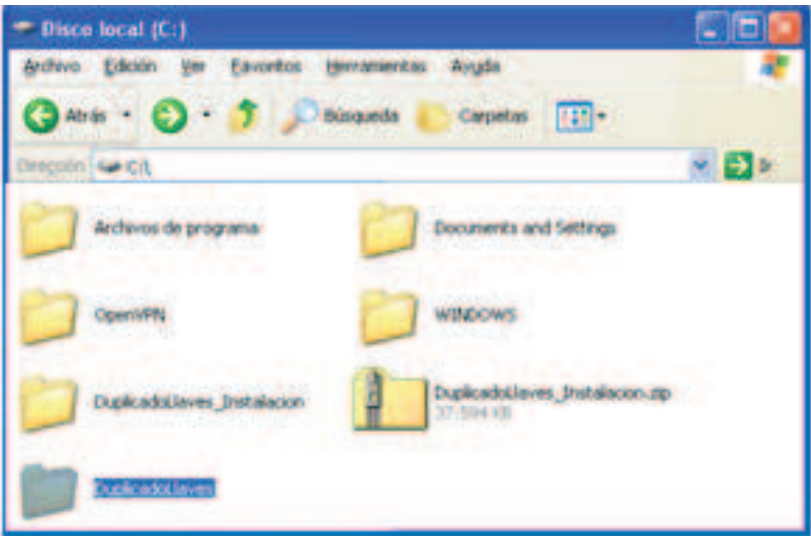
INSTALACIÓN

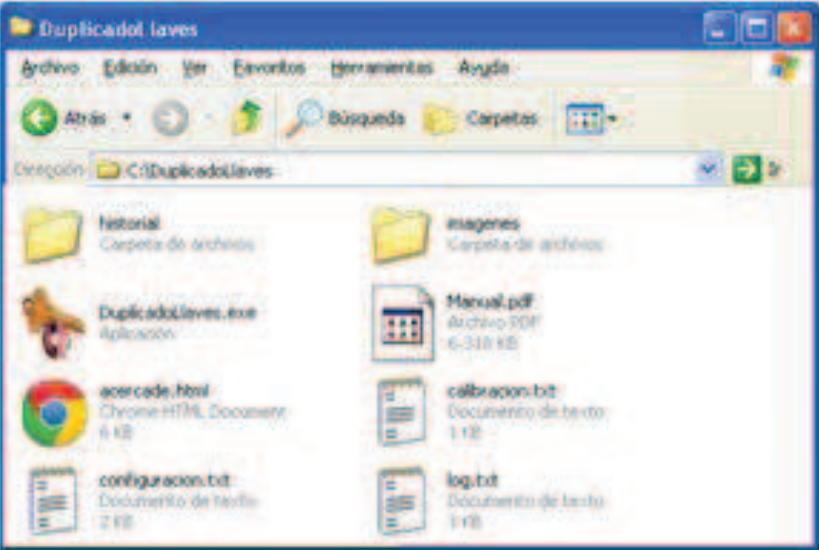
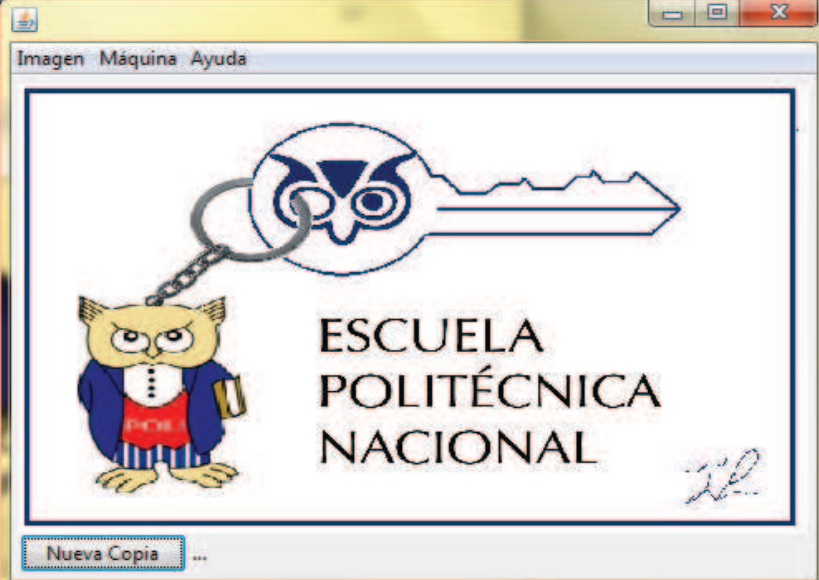
<p>Copiar el archivo DuplicadoLlaves_Instalacion.zip que se entrega junto con este manual de usuario en el directorio C:\</p>	
<p>Extraer el contenido del archivo, en el mismo directorio:</p>	
<p>El contenido del directorio DuplicadoLlaves_Instalacion se muestra en la figura</p>	

<p>Ejecutar el archivo MCRInstaller.exe, se mostrará la siguiente ventana:</p>	
<p>Dar clic en OK</p> <p>Se muestra la siguiente ventana:</p> <p>Dar clic en Install</p>	
<p>Se muestra la siguiente ventana:</p> <p>Dar Clic en Next</p>	
<p>Clic en OK</p>	

<p>Clic en Finish</p>	
<p>Ejecutar el archivo jre-6u34-windows-i586.exe, se muestra la ventana:</p>	
<p>Clic en Instalar</p>	

<p>Clic en Cerrar</p>	
<p>Ejecutar el archivo jmf-2_1_1e-windows-i586.exe, se abre la siguiente ventana:</p>	
<p>Clic en Yes</p>	
<p>Clic en Next</p>	

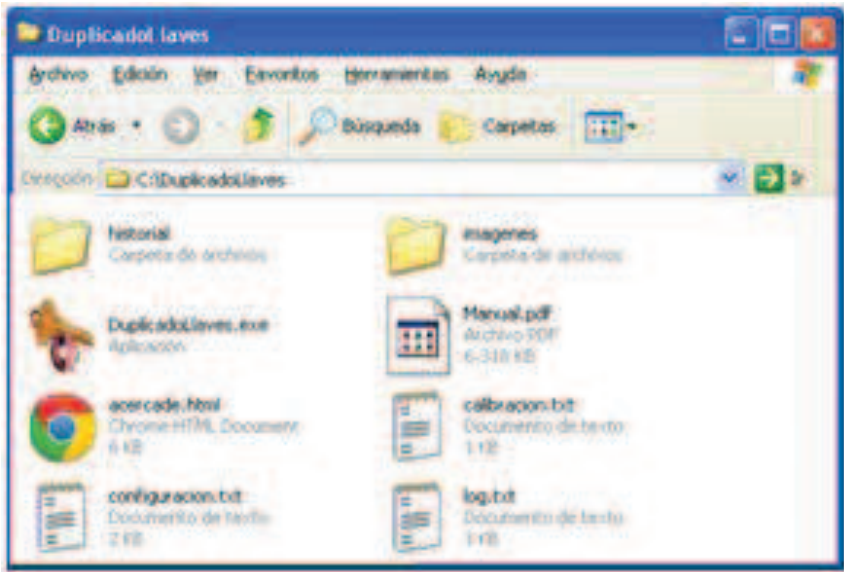
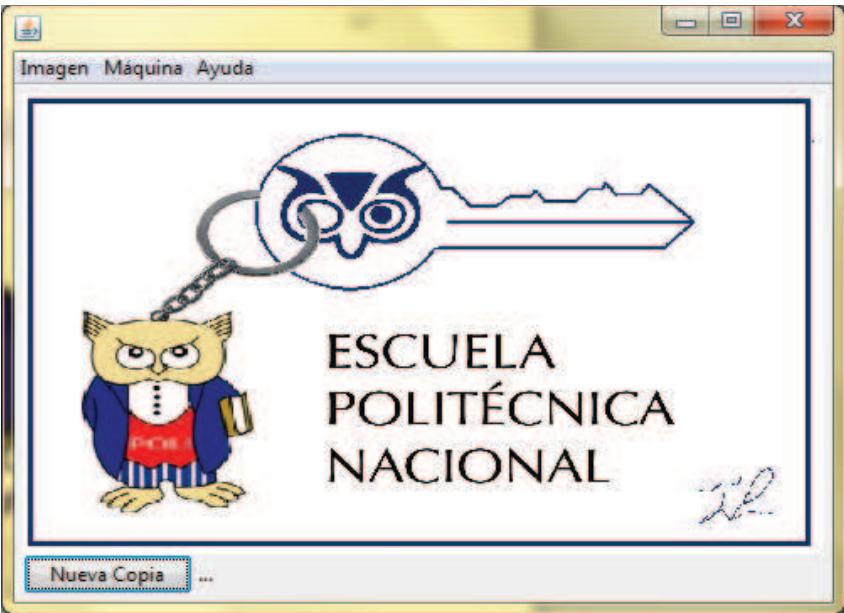
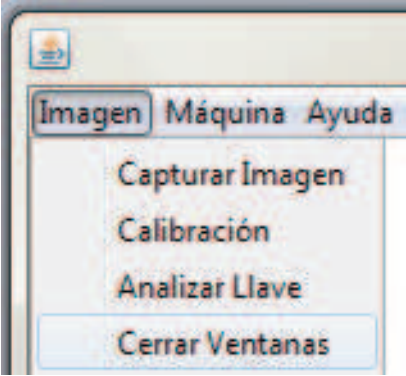
<p>Clic en Next</p>	
<p>Clic en Finish, se reinicia el computador.</p>	
<p>Ejecutar el archivo instalacion.bat</p> <p>Se crea el directorio C:\DuplicadoLlaves</p>	

<p>Ejecutar el archivo DuplicadoLlaves.exe</p>	
<p>Se abre la ventana principal de la aplicación:</p>	

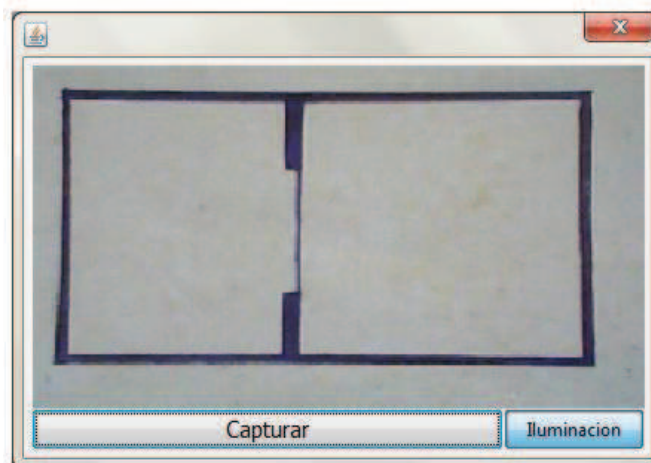
CALIBRACIÓN

La primera vez, que se utilice la máquina, o en caso de que la cámara de video que se encuentra en el interior del cubículo de adquisición de imágenes se haya movido, se deberá realizar este proceso:

Encender la máquina, accionar el interruptor de encendido.

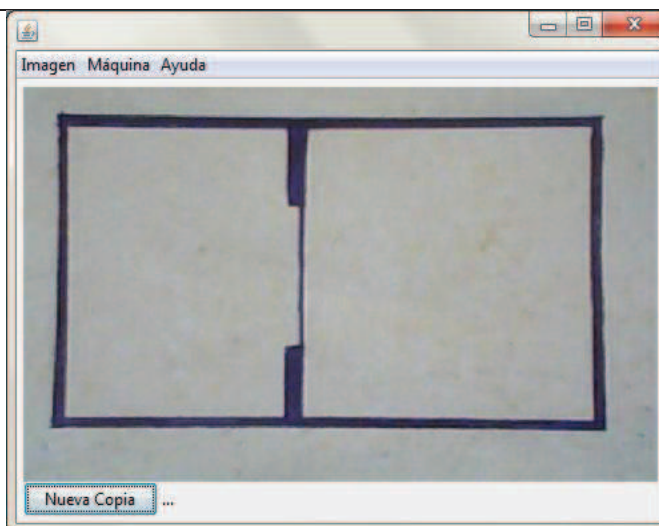
<p>Ejecutar el archivo C:\DuplicadoLlaves\ DuplicadoLlaves.exe</p>	
<p>En la pantalla principal de la aplicación:</p>	
<p>Dar clic en el menú: Imagen -> Capturar Imagen</p>	

Se muestra lo siguiente:



Dar clic en el botón Capturar

Se cerrará la ventana, y se mostrará:

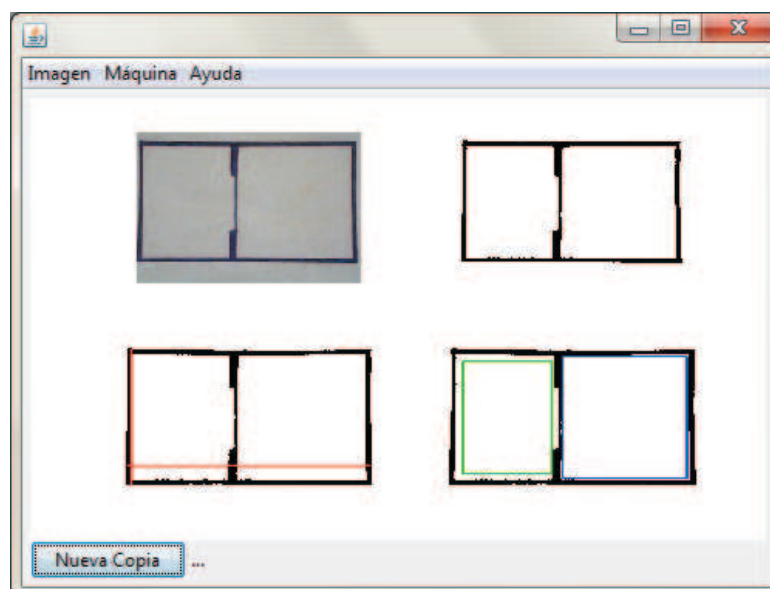


Dar clic en el menú:

Imagen ->
Calibración

Se mostrará lo siguiente:

Cerrar la ventana, con este proceso se determina la ubicación de la plantilla de calibración.

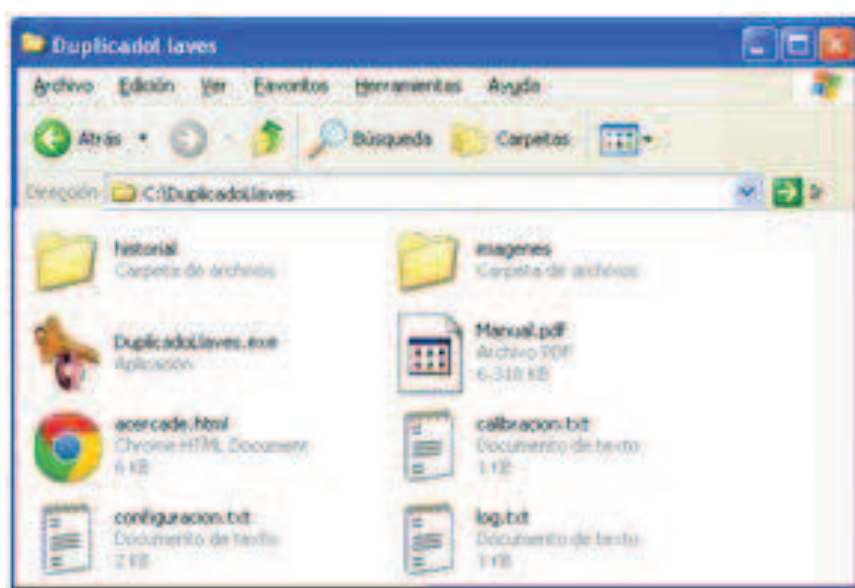


DUPLICADO DE LLAVES

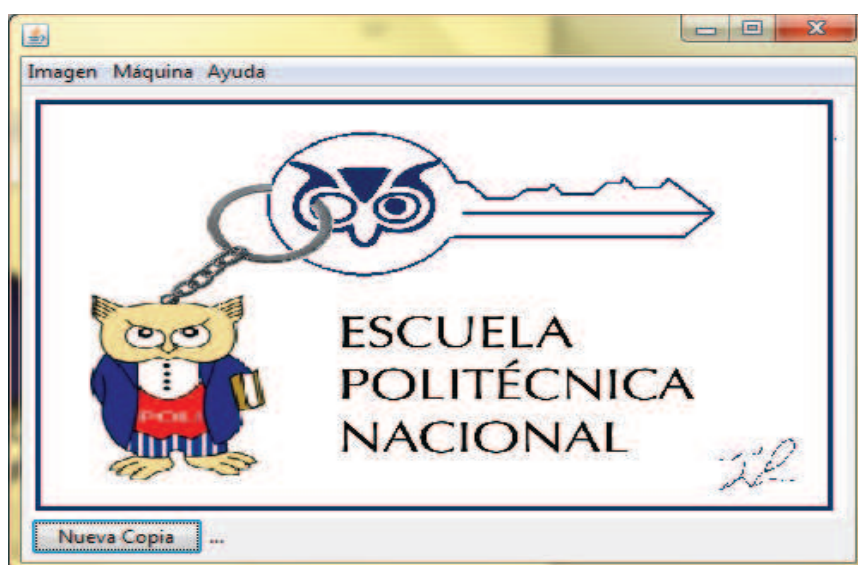
Para realizar una copia, se debe ejecutar el siguiente proceso:

Encender la máquina, accionar el interruptor de encendido.

Ejecutar el archivo
C:\DuplicadoLlaves\
DuplicadoLlaves.exe

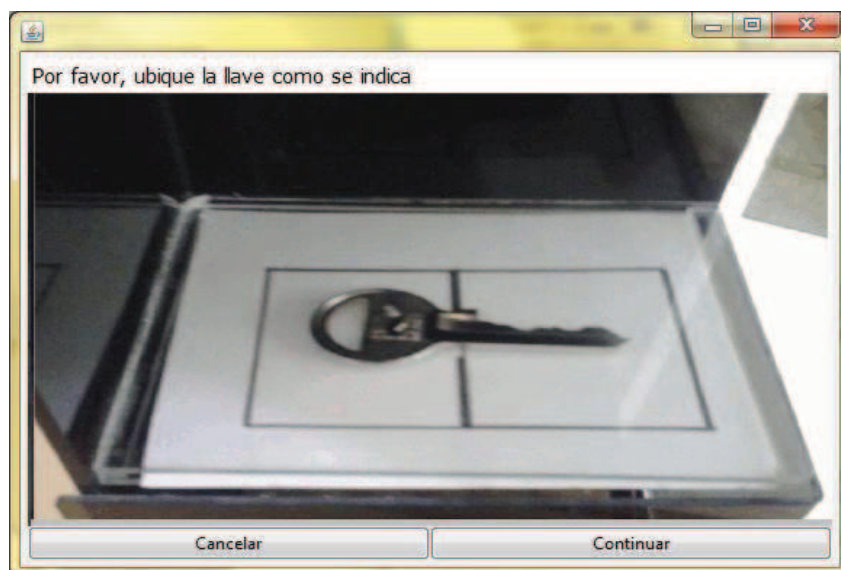


En la pantalla
principal de la
aplicación:



Dar clic en el botón Nueva Copia

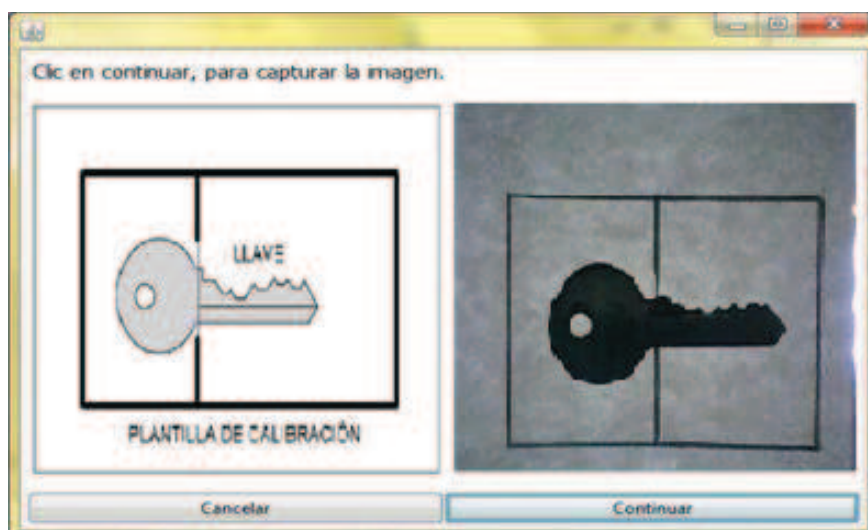
Se abre la siguiente ventana.



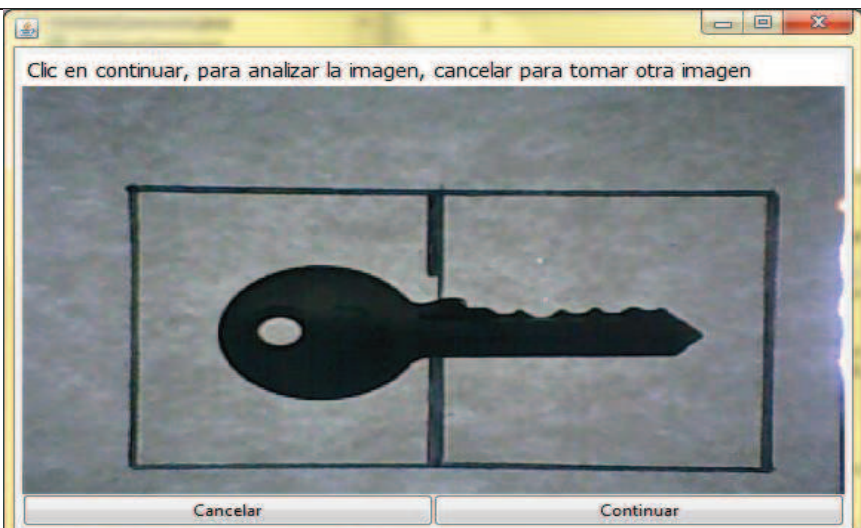
Ubicar la llave que se desea duplicar en el interior del cubículo de adquisición de imágenes, y cerrar la puerta del cubículo.

Se muestra el interior del cubículo de adquisición de imágenes.

Ubicar la llave como se indica en la figura, de la derecha, y dar clic en el botón Continuar



Se muestra la siguiente ventana, si la imagen es correcta dar clic en Continuar, dar clic en Cancelar para capturar otra imagen.

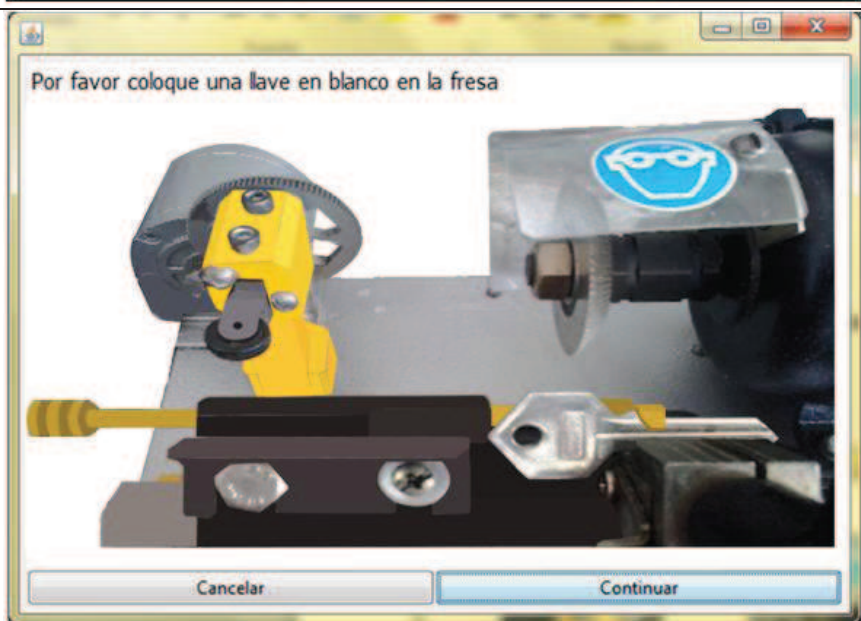


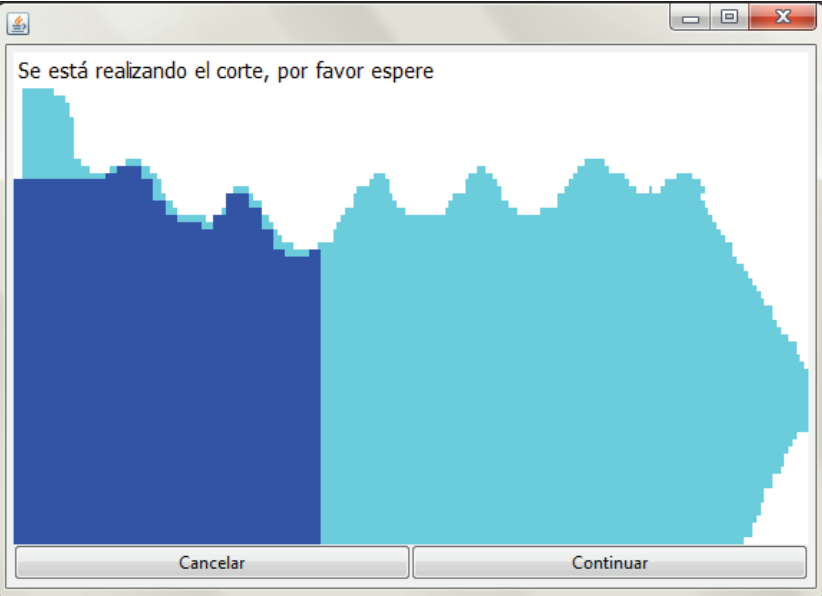
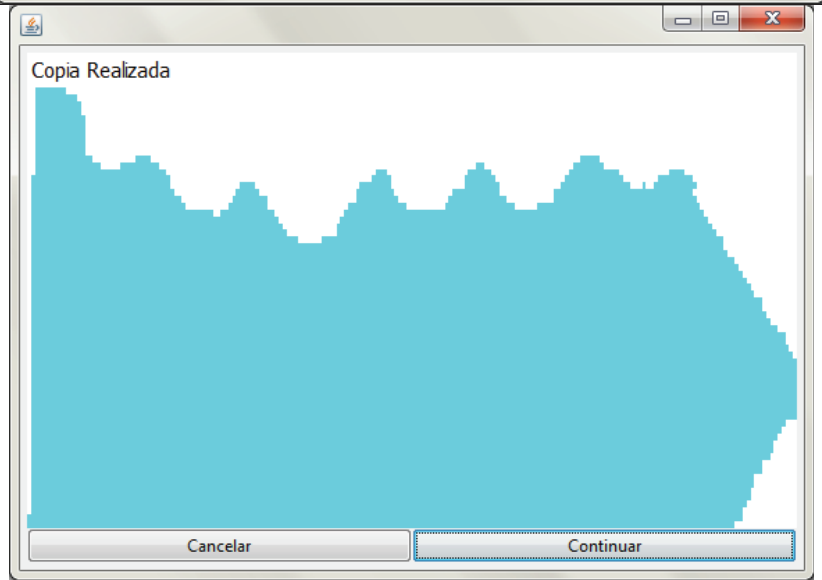
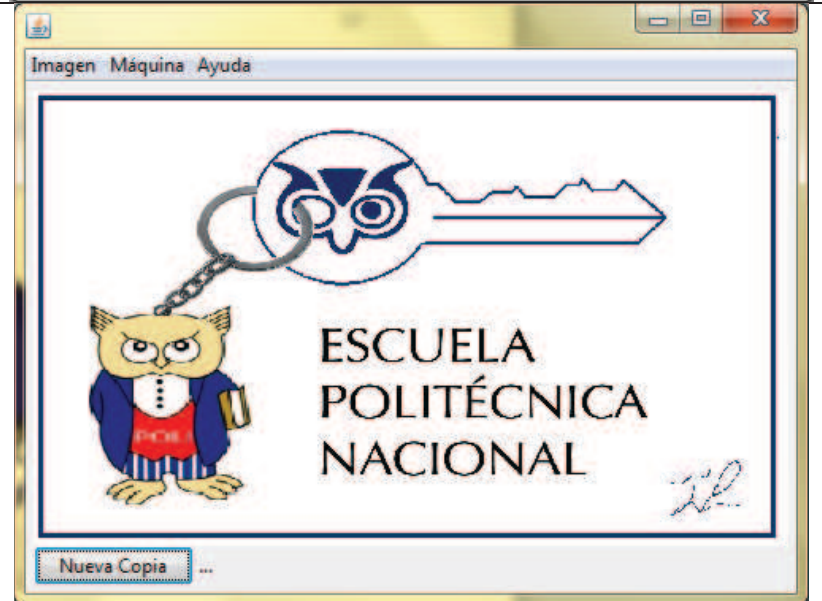
Verificar que no se encuentre una llave en la mordaza, de ser el caso se debe retirar; esto es importante debido a que al dar clic en Continuar se ubica el carro en la posición inicial.



Esperar a que la máquina se ubique en la posición de inicio, luego se muestra la siguiente pantalla.

Ubicar una llave en blanco en la mordaza, y dar clic en Continuar



<p>Tomar en cuenta que la llave en blanco debe tener la misma acanaladura, y longitud que la llave original.</p> <p>Se muestra en la pantalla el perfil de la llave, y se marca en azul el progreso.</p>	
<p>Cuando se termine de cortar la llave, se muestra la siguiente pantalla, retirar la llave de la fresa, dar clic en Continuar.</p>	
<p>Se mostrará la pantalla principal:</p> <p>Retirar la llave de la máquina.</p>	

ANEXO 3

MEDICIÓN DE FUERZA MECÁNICA

En la Figura A3. 1 se muestra la fuerza mínima necesaria para mover al carro hacia la fresa. El sistema mecánico debe ser capaz de generar una fuerza mayor para conseguir este movimiento de forma adecuada. Con esta consideración se ha realizado el dimensionamiento del Motor 2 en el capítulo 2.

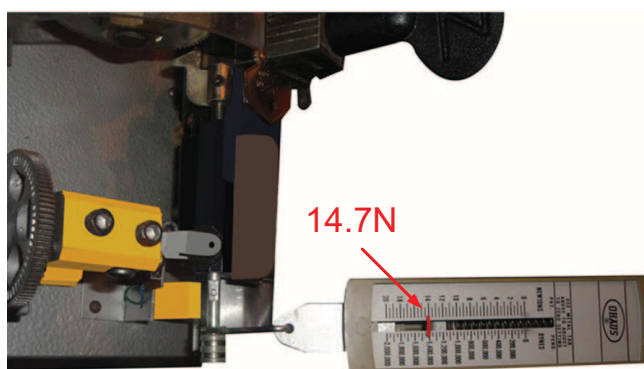


Figura A3. 1 Fuerza eje Y

En la Figura A3. 2 se muestra la fuerza mínima necesaria para mover al carro de forma horizontal. El sistema mecánico debe ser capaz de generar una fuerza lineal mayor para conseguir este movimiento de forma adecuada. Con esta consideración se ha realizado el dimensionamiento del Motor 1 en el capítulo 2.



Figura A3. 2 Fuerza eje X