

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Eléctrica**

**IE0499 – Proyecto Eléctrico**

**Modificación de una máquina de control numérico (CNC)  
y su uso como estación tridimensional para control de  
transductor ultrasónico.**

por

**Fernanda Villalobos Vargas**

**Ciudad Universitaria Rodrigo Facio**

Enero de 2023



# **Modificación de una máquina de control numérico (CNC) y su uso como estación tridimensional para control de transductor ultrasónico.**

por

**Fernanda Villalobos Vargas**

B78363

**IE0499 – Proyecto Eléctrico**

Aprobado por

---

Ing. Diego Dumani Jarquín, PhD.

*Profesor guía*

---

Ing. Lucky Lo chi Yu Lo, PhD.

*Profesor lector*

---

Ing. Teodoro José Willink Castro, MSc.

*Profesor lector*

Enero de 2023



## Resumen

# Modificación de una máquina de control numérico (CNC) y su uso como estación tridimensional para control de transductor ultrasónico.

por

**Fernanda Villalobos Vargas**

Universidad de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Eléctrica

Profesor guía: Ing. Diego Dumani Jarquín, PhD.

Enero de 2023

En este trabajo de investigará una máquina CNC modelo HR0534B, así como el funcionamiento de su programa basado en coordenadas con las cuales se define la forma del movimiento de dicha máquina. Esto con el fin de crear un adaptador con el cual se pueda sostener un transductor en ella, para realizar tomas más precisas según las coordenadas que se ingresen en el programa. Para mayor facilidad de la toma de muestras se vinculará la máquina con un código en Python desde el cual se le den instrucciones precisas de cómo debe ser su movimiento y la cantidad de muestras que debe tomar con una determinada distancia entre sí.

**Palabras claves:** Control numérico, Transductor ultrasónico, coordenadas, G-Code, Grbl.

---

### Acerca de IE0499 – Proyecto Eléctrico

El Proyecto Eléctrico es un curso semestral bajo la modalidad de trabajo individual supervisado, con el propósito de aplicar estrategias de diseño y análisis a un problema de temática abierta de la ingeniería eléctrica. Es un requisito de graduación para el grado de Bachiller en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica.



**Abstract**

**Modificación de una máquina de control numérico (CNC)  
y su uso como estación tridimensional para control de  
transductor ultrasónico.**

Original in Spanish. Translated as: “Modification of a numerical control machine (CNC) and its use as a three-dimensional station for ultrasonic transducer control.”

by

**Fernanda Villalobos Vargas**

University of Costa Rica  
Department of Electrical Engineering  
Tutor: Ing. Diego Dumani Jarquín, PhD.  
January of 2023

In this work, a CNC machine model HR0534B will be investigated, as well as the operation of its program based on coordinates with which the shape of the movement of said machine is defined. This in order to create an adapter with which a transducer can be held on it, to make more precise shots according to the coordinates entered in the program. To make it easier to take samples, the machine will be linked to a Python code from which precise instructions are given on how its movement should be and the number of samples it should take with a certain distance between them.

**Keywords:** *numerical control, ultrasonic transducer, coordinates, G-Code, Grbl.*

---

**About IE0499 – Proyecto Eléctrico (“Electrical Project”)**

The “Electrical Project” (or “capstone project”) is a course of supervised individual work of one semester, with the purpose of applying design and analysis strategies to a problem in an open topic in electrical engineering. It is a requisite of graduation for the Bachelor of Science in Electrical Engineering, granted by the University of Costa Rica.





# Índice general

<b>Índice general</b>	<b>ix</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>x</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>xi</b>
<b>Nomenclatura</b>	<b>xiii</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Alcance del proyecto . . . . .	2
1.2. Justificación . . . . .	2
1.3. Objetivos . . . . .	2
1.4. Metodología . . . . .	3
1.5. Cronograma . . . . .	4
<b>2 Marco Teórico y Antecedentes</b>	<b>9</b>
2.1. Marco Teórico . . . . .	9
2.2. Control numérico . . . . .	9
2.2.1. Máquina de control numérico modelo HR0534B . . . . .	9
2.3. Arduino . . . . .	12
2.4. Comunicación serial en Arduino . . . . .	12
2.5. ATMEGA328P . . . . .	12
2.6. CH340G . . . . .	13
2.6.1. UART . . . . .	13
2.6.2. RS232 . . . . .	13
2.7. Grbl . . . . .	13
2.7.1. G-Code . . . . .	14
2.8. Transductor ultrasónico . . . . .	14
2.8.1. Cristal piezoeléctrico . . . . .	14
2.8.2. Backplate . . . . .	15
2.8.3. Placa de desgaste . . . . .	15
2.9. Ultrasonido . . . . .	15

2.10. Baudios . . . . .	15
<b>3 Desarrollo</b>	<b>17</b>
3.1. Análisis de las señales . . . . .	17
3.2. Código de Python . . . . .	21
3.3. Análisis de Resultados . . . . .	25
<b>4 Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>27</b>
4.1. Conclusiones . . . . .	27
4.2. Recomendaciones . . . . .	27
4.3. Dificultades . . . . .	27
<b>5 Anexo</b>	<b>29</b>
5.1. Guía de uso de la máquina CNC modelo HR0534B con Python . . . . .	29
<b>Bibliografía</b>	<b>31</b>

## Índice de figuras

2.1. Máquina CNC modelo HR0534B. Fotografía de autoría propia. . . . .	10
2.2. Figura del software completo de la máquina CNC modelo HR0534B, tomada de [8] . . . . .	11
2.3. Figura de los indicadores de movimiento del software de la máquina CNC modelo HR0534B, tomada de [8] . . . . .	11
2.4. Figura de la consola del software de la máquina CNC modelo HR0534B, tomada de [8] . . . . .	12
2.5. Figura de un cristal piezoeléctrico, tomada de [13] . . . . .	14
3.1. Figura de las configuraciones generales del Serial Port Monitor. Creación propia. . . . .	17
3.2. Figura de la solicitud de la terminal en el Serial Port Monitor. Creación propia. . . . .	18
3.3. Figura de la terminal del software con las señales base enviadas y recibidas de la máquina CNC modelo HR0534B. Creación propia. . . . .	19
3.4. Figura de la terminal del software con las señales de movimiento enviadas y recibidas de la máquina CNC modelo HR0534B. Creación propia. . . . .	20
3.5. Figura de la terminal del software con las señales de movimiento enviadas y recibidas de la máquina CNC modelo HR0534B. Creación propia. . . . .	21
3.6. Figura del bloc que muestra las coordenadas del ejemplo de movimiento solicitado. Creación propia. . . . .	25

# Índice de tablas

1.1. Pasos a seguir para la elaboración del proyecto. Parte 1 . . . . .	3
1.2. Pasos a seguir para la elaboración del proyecto. Parte 2 . . . . .	4
1.3. Cronograma del proyecto. Parte 1 . . . . .	5
1.4. Cronograma del proyecto, Parte 2. . . . .	6
1.5. Cronograma del proyecto, Parte 3. . . . .	7



# Nomenclatura

<i>CNC</i>	Control numérico
<i>DTE</i>	Equipo de terminal de datos
<i>F0</i>	speed [5]
<i>G0</i>	Motion Modes [5]
<i>G17</i>	Plane Select Modes [5]
<i>G21</i>	Unit Modes [5]
<i>G54</i>	Coordinate System Modes [5]
<i>G91</i>	Distance Modes [5]
<i>G94</i>	Feed Rate Modes [5]
<i>M0</i>	Program Flow [5]
<i>M5</i>	Spindle Control [5]
<i>M9</i>	Coolant Control [5]
<i>RS232</i>	Protocolo de comunicación en serie
<i>S800</i>	Rotor speed [5]
<i>STL</i>	Standard Template Library
<i>T0</i>	run other commands [5]
<i>UART</i>	Protocolo de recitador/transmisor asíncrono universal



# Capítulo 1

## Introducción

**P**ARA realizar distintos trabajos investigativos, los cuales estén basados en análisis de muestras, ya sea una sola o varias; es necesario tener la mayor exactitud posible. Esto quiere decir que hay que procurar tener un error mínimo en estos resultados, con el fin de poder llegar a una conclusión satisfactoria. A causa de esta necesidad los avances tecnológicos han procurado automatizar muchos procesos, con la intención de eliminar el error humano en las mediciones, o bien, permitirle a la persona encargada la posibilidad de no estar pendiente durante el proceso y solo esperar los resultados para realizar el estudio de estos.

Con este proyecto se busca la automatización de la toma de muestras por medio de una máquina de control numérico modelo HR0534B, la cual se controla por medio de un código en Python, desde el cual se le puede dar indicaciones de la cantidad de muestras que se deben tomar y el espacio de separación entre ellas. Para ello, se debió estudiar el comportamiento del software de dicho modelo así como sus especificaciones.

## 1.1. Alcance del proyecto

El sistema desarrollado en ese proyecto se puede utilizar para la experimentación de los estudiantes, la toma de muestras por parte de los asistentes o profesores encargados del Laboratorio de investigación en ingeniería biomédica. Debido a que facilita realizar la toma de muestras puede ser de utilidad para todos aquellos que deban realizar estas labores, evitando el error humano y dándole más libertad de movimiento al encargado, ya que automatiza gran parte del proceso. En cuanto a sus limitaciones físicas, se limita a la manipulación de la posición de la sonda, la adquisición de datos está fuera de los alcances de este proyecto.

## 1.2. Justificación

La idea de este proyecto surge como una posibilidad de la ampliación del conocimiento adquirido como estudiante de Ingeniería Eléctrica y cómo esta se puede ligar al área médica. Para ello se ideó la modificación de la máquina de control numérico CNC modelo HR0534B, la cual no presenta una relación con esta área. Por esta razón se planeó la posibilidad de realizar una modificación, en la cual se consiguiera adaptarle un transductor ultrasónico; con la finalidad de obtener muestras precisas a pequeña escala, realizadas por el transductor unido a la CNC modelo HR0534B siguiendo las coordenadas establecidas que se le programen.

Esta posibilidad se da a lo importante que es facilitar la toma de muestras y mediante esta implementación se podrá realizarlas de manera automatizada, permitiendo que la persona encargada de estas no se vea obligada a permanecer pendiente durante el proceso. Esto le da tiempo para que realice otros trabajos de manera simultánea mientras espera los resultados, o bien, se tome ese tiempo para descansar. Esta implementación también disminuiría los errores humanos en la medición, ya que será por medio de comandos de posición específicos en los que se tomará dichas muestras, haciendo que estas sean más exactas.

## 1.3. Objetivos

### Objetivo general

Adaptar una máquina de control numérico (CNC) para ser utilizada como una estación tridimensional que sujete y traslade un transductor ultrasónico durante la toma de imágenes.

### Objetivos específicos

1. Comprender el funcionamiento general de una máquina de control numérico (CNC), y en específico al modelo HR0534B disponible en el Laboratorio de Investigación en Ingeniería Biomédica.
2. Modificar el software y hardware de forma que la CNC sea capaz de realizar movimientos de traslación lineal para escaneo de muestras con un transductor ultrasónico.



3. Crear una interfaz o método intuitivo para que la persona usuaria pueda especificar la distancia total de barrido, tamaño de cada paso, y duración entre cada paso.
4. Diseñar una modificación que pueda enviar y recibir señales de control desde un dispositivo externo, para poder realizar movimientos lineales según lo demande dicho dispositivo.
5. Generar un manual de uso con instrucciones, código, y demás información necesaria para el funcionamiento del sistema.

## 1.4. Metodología

En las Tablas 1.1 y 1.2 se muestran los pasos a seguir para el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Objetivos específicos	Pasos metodológicos
Comprender el funcionamiento general de una máquina de control numérico (CNC), y el específico al modelo HR0534B disponible en el Laboratorio de Investigación en Ingeniería Biomédica	1. Encuentre información bibliográfica sobre el principio de funcionamiento y componentes de la máquina CNC HR0534B, sus componentes, características y equipamiento.
Modificar el software y hardware de forma que la CNC sea capaz de realizar movimientos de traslación lineal para escaneo de muestras con un transductor ultrasónico	1. Reconocimiento del equipo, del software y el hardware especial del CNC, para determinar la necesidad de una modificación que se adapte a la instalación de un transductor ultrasónico.

Tabla 1.1: Pasos a seguir para la elaboración del proyecto. Parte 1

Objetivos específicos	Pasos metodológicos
Crear una interfaz o método intuitivo para que la persona usuaria pueda especificar la distancia total de barrido, tamaño de cada paso, y duración entre cada paso.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Investigar los componentes que se encuentran en la máquina CNC modelo HR0534B.</li> <li>2. Analizar la distancia máxima en la que la máquina CNC modelo HR0534B puede desplazarse según cada una de las coordenadas (X, Y, Z).</li> </ol>
Diseñar una modificación que pueda enviar y recibir señales de control desde un dispositivo externo, para poder realizar movimientos lineales según lo demande dicho dispositivo.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Definir un código en Python con el cual se pueda enviar órdenes a la máquina CNC modelo HR0534B con el cual se pueda controlar el movimiento en el eje X.</li> <li>2. Realizar distintas pruebas para generalizar las indicaciones del código.</li> </ol>
Generar un manual de uso con instrucciones, código, y demás información necesaria para el funcionamiento del sistema.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Recopilar los datos y resultados de las modificaciones para crear una guía en la cual explique los pasos para el control de la máquina modificada.</li> </ol>

Tabla 1.2: Pasos a seguir para la elaboración del proyecto. Parte 2

## 1.5. Cronograma

En las Tablas 1.3, 1.4 y 1.5 se expone el cronograma del proyecto.

Semana de trabajo	Actividades y entregas	Responsable
1	Asignación de tema de Proyecto Eléctrico y reunión con profesor guía Ing. Diego Dumani Jarquín, PhD para detallar aspectos importantes en el inicio de la investigación.	Ing. Diego Dumani Jarquín, PhD y María Fernanda Villalobos Vargas.
2	Investigación y búsqueda de información sobre el tema asignado.	María Fernanda Villalobos Vargas.
3	Elaboración de los objetivos, cronograma y resumen preliminares.	María Fernanda Villalobos Vargas.
4	Reunión con el asistente de laboratorio Carlos Wattson Sánchez para hablar del funcionamiento básico de la maquina CNC y algunos de sus componentes.	Carlos Wattson Sánchez y María Fernanda Villalobos Vargas.
5	Investigación de funcionamientos básicos de la CNC HR0534B mediante la interacción con esta en el laboratorio	María Fernanda Villalobos Vargas.
6	Investigación de los distintos comandos aplicables en la CNC HR0534B y mantenimiento	María Fernanda Villalobos Vargas.
7	Redacción preliminar del marco teórico, justificación y actualización del cronograma.	María Fernanda Villalobos Vargas.

Tabla 1.3: Cronograma del proyecto. Parte 1

Semana de trabajo	Actividades y entregas	Responsable
8	Revisión y corrección general de primer avance, realizando modificaciones al marco teórico y a la metodología.	Ing. Diego Dumani Jarquín, PhD y María Fernanda Villalobos Vargas.
9	Modificación del resumen, introducción, justificación. Investigación sobre la tarjeta madre de la CNC.	María Fernanda Villalobos Vargas.
10	Búsqueda bibliográfica sobre programas convenientes para realizar la modificación del envío de instrucciones a la máquina CNC.	María Fernanda Villalobos Vargas.
12	Solicitud de prórroga. Análisis del Hardware utilizado por la máquina CNC y cómo podría conectarse con el programa escogido.	Ing. Teodoro José Willink Castro, MSc. y María Fernanda Villalobos Vargas.

Tabla 1.4: Cronograma del proyecto, Parte 2.

Semana de trabajo	Actividades y entregas	Responsable
13	Búsqueda bibliográfica del G-code y la grbl. Prueba del código preliminar con la máquina CNC	Ing. Teodoro José Willink Castro, MSc. y María Fernanda Villalobos Vargas.
14	Redacción del desarrollo, ampliación del marco teórico y el resumen. Mediciones de los parámetros del movimiento de la máquina CNC para ajuste del código.	María Fernanda Villalobos Vargas.
15	Redacción del análisis de resultados y conclusiones.	María Fernanda Villalobos Vargas.
16	Elaboración de la guía, adjunta en anexos.	María Fernanda Villalobos Vargas.

Tabla 1.5: Cronograma del proyecto, Parte 3.



## Capítulo 2

# Marco Teórico y Antecedentes

### 2.1. Marco Teórico

En esta sección se presenta el marco conceptual, con algunas definiciones que son relevantes para este proyecto, tales como la explicación de qué es una máquina de control numérico, cómo es su funcionamiento y en qué consiste un transductor ultrasónico y cuáles son sus funciones. Esto con el fin de tener una idea clara de los elementos con los que se está trabajando.

### 2.2. Control numérico

El CNC o control numérico es un sistema que permite controlar la posición de un elemento instalado en el interior de una máquina o de una herramienta, esto mediante un software especialmente diseñado para dicha máquina [11]. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el control numérico no es un método de mecanizado; es un concepto de control de la máquina. Este permite controlar el posicionamiento a lo largo de los ejes X, Y, Z, se logra mediante una serie de instrucciones codificadas que contienen números, letras del alfabeto y símbolos que el control de la máquina puede leer y procesar. Estos comandos se convierten en impulsos eléctricos que accionan el motor, el servomotor, el codificador y/o el control de la máquina para realizar tareas de fabricación en la pieza de trabajo. [14]

#### 2.2.1. Máquina de control numérico modelo HR0534B

En la Figura 2.1 se muestra el modelo existente en el Laboratorio de Investigación en Ingeniería biomédica en la Universidad de Costa Rica.

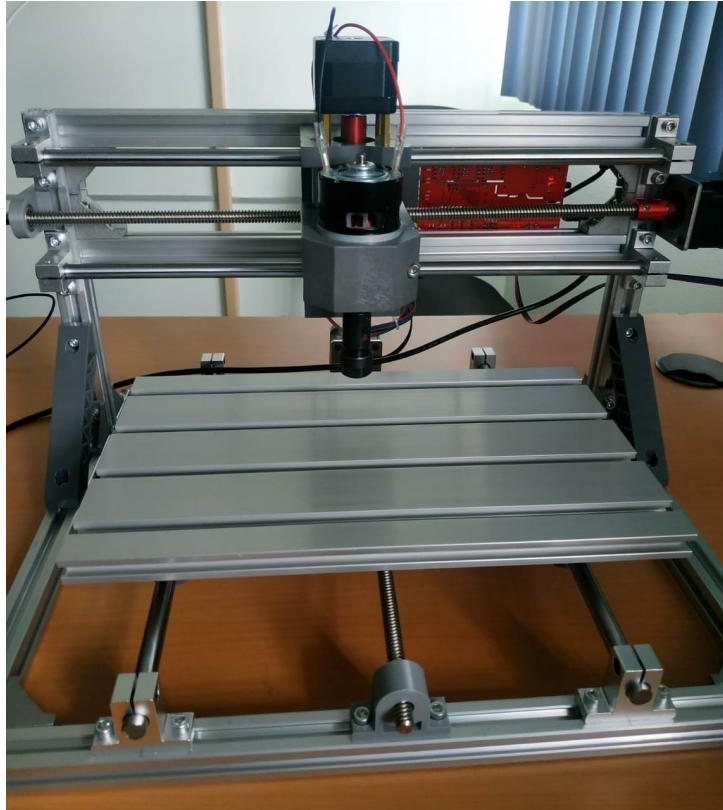


Figura 2.1: Máquina CNC modelo HR0534B. Fotografía de autoría propia.

Esta máquina viene con un manual de construcción e instalación, en el cual se detallan los pasos para realizar dicha instalación, así como también los pasos para vincular este programa con la máquina y poder darle instrucciones por medio de este. Se incluyen instrucciones básicas para controlar la máquina por medio del programa instalado, como se muestra en la Figura 2.2 en la que se puede observar un plano en blanco donde el programa indica la posición en la que se va moviendo el sensor.



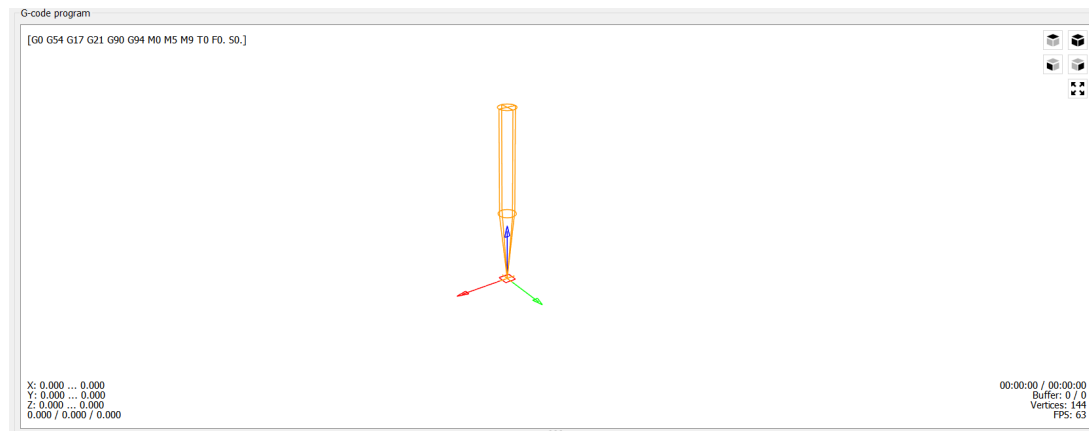


Figura 2.2: Figura del software completo de la máquina CNC modelo HR0534B, tomada de [8]

En la Figura 2.3 se puede observar de cerca cuáles son los botones con los que se realizan los movimientos según los ejes, con el color rojo se indica el eje de interés para este proyecto, el cual es el eje X, cuyo eje positivo se desplaza a la derecha y el eje negativo a la izquierda. De color verde los controladores del eje Y, cuyo eje positivo desplaza la plataforma inferior hacia afuera y el eje negativo la desplaza hacia adentro. De color azul se muestra los controladores del eje Z, cuyo eje positivo mueve el sensor hacia abajo y el eje negativo hacia arriba. Estos botones indican para qué dirección se desea desplazar el sensor de la máquina, sin embargo, la distancia entre cada movimiento depende del desplazamiento predeterminado que se indica en el espacio llamado "Presets" en los cuales se muestran las opciones de desplazamiento en milímetros.

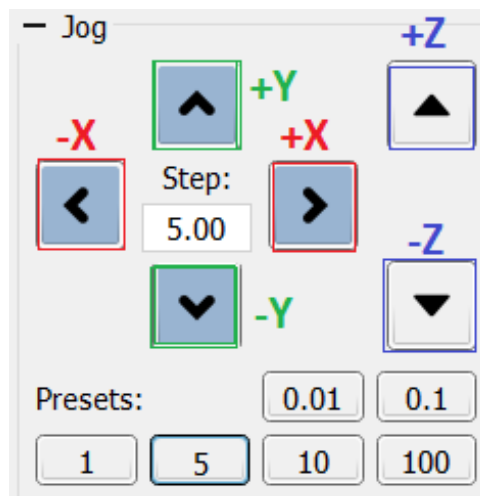


Figura 2.3: Figura de los indicadores de movimiento del software de la máquina CNC modelo HR0534B, tomada de [8]

Otra forma de ordenarle a la máquina realizar ciertos movimientos sin necesidad de utilizar estos botones, es utilizando la consola mostrada en la Figura 2.4 en la cual se muestra en ejemplo solicitando que todos los ejes realicen un desplazamiento de 10 en sus respectivos ejes positivos.

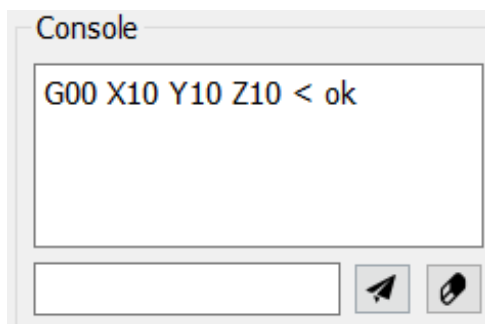


Figura 2.4: Figura de la consola del software de la máquina CNC modelo HR0534B, tomada de [8]

### 2.3. Arduino

Una plataforma electrónica de código abierto la cual ha tenido gran desarrollo, esto debido a la facilidad de uso con respecto al hardware y software, así como al interés de empresas como Intel, Microsoft, Texas Instruments y más. adaptar sus productos a esta plataforma. La placa más utilizada es la placa Arduino Uno, su hardware es de código abierto, lo que permite a varios fabricantes de electrónica adaptar fácilmente sus productos a esta plataforma. Este es el caso de Intel, que ha desarrollado placas basadas en Arduino Uno y utiliza algunos de sus microprocesadores, y Texas Instruments, que ha desarrollado placas basadas en Arduino Uno y utiliza algunos de sus microcontroladores. El entorno de desarrollo Visual Studio de Microsoft le permite editar el código Arduino usando un paquete de instalación. [12]

### 2.4. Comunicación serial en Arduino

El Arduino funciona conectado a una computadora o de forma independiente, se comunica con la computadora a la que está conectado través de un puerto serial con otro dispositivo o utilizando una shield de comunicación. Todas las placas Arduino tienen al menos un puerto serie, UART o USART. Esto nos permite comunicarnos con el Arduino usando una conexión a través de los pines 0(RX) y 1(TX) o USB. [1] Para este se utilizó el software llamado "Serial Port Monitor" para ver las señales que se enviaban de la computadora al Arduino.

### 2.5. ATMEGA328P

Este microcontrolador está presente en la placa de control de la máquina CNC modelo HB0534B. Es el microcontrolador principal de la placa del Arduino Uno. Este es conocido por sus capacidades internas y arquitectura de microcontrolador, es muy útil en el diseño de circuitos electrónicos. El Atmega328P

es un microcontrolador de alto desempeño, bajo consumo y optimizado para compiladores C. Usa memorias y buses separados para programa y datos. El procesador utiliza una ruta de un solo nivel, lo que significa que cuando se ejecuta una instrucción, la siguiente instrucción se está buscando en la memoria del programa. Con este método de pipeline y buses separados, el microcontrolador puede ejecutar instrucciones en un ciclo de reloj. [12]

## 2.6. CH340G

Este microprocesador es el que se encuentra presente en la placa de la maquina CNC modelo HR0534B, el cual es el encargado de realizar la conexión entre la placa y la computadora, con el fin de enviar y recibir instrucciones. Como López [9] comenta, la familia de circuitos integrados CH340 es un grupo de chips diseñados para establecer comunicación entre un USB Host y un dispositivo que se pueda comunicar a través de protocolos UART o RS232, es decir, este pequeño chip “convierte” el tipo de comunicación USB (Universal Serial Bus) a comunicación UART(Universal Asynchronous Receiver-Transmitter).

### 2.6.1. UART

UART significa Universal Asynchronous Receiver/Transmitter y define un protocolo o conjunto de reglas para el intercambio de datos en serie entre dos dispositivos. UART es muy simple y usa solo dos cables entre el transmisor y el receptor para transmitir y recibir en ambas direcciones. La comunicación UART puede ser simple, semidúplex o dúplex completo. Los datos en el UART se envían como tramas. El formato y el contenido de estos marcos se describen y explican brevemente. [7]

### 2.6.2. RS232

Es uno de los protocolos populares en telecomunicaciones que se utiliza para la comunicación en serie. Es básicamente un método para vincular punteros entre dispositivos terminales de conocimiento (DTE), como servidores de archivos, routers y servidores de software similares a módems. [3]

## 2.7. Grbl

Es un software de control de movimiento de código abierto gratuito y de alto rendimiento para máquinas que se mueven o que fabrican cosas y se ejecuta de manera directamente en Arduino. Este lanzó sus primeras versiones en el año 2009 por Simen Svale Skogsrud el cual usó como inspiración el Arduino G-Code Interpreter de Mike Ellery. [5]

Grbl se ha adaptado para su uso en cientos de proyectos, incluidas cortadoras láser, impresoras automáticas de inyección de tinta, perforadoras y más; esto debido a su rendimiento, simplicidad y modestos requisitos de hardware [5].

### 2.7.1. G-Code

El archivo de código G-Code convierte un archivo de diseño STL en un archivo de control para una impresora 3D. Este lenguaje de programación permite que la máquina entienda qué instrucciones se deben seguir para obtener el producto final. Este es el lenguaje generado automáticamente por el software de corte al convertir el diseño a un archivo STL. Consta de comandos G y M, numerados como se muestra en la Figura 3.5 del análisis de señales, cada uno asociado a un movimiento o acción. La combinación de estos comandos le permitirá a la impresora 3D saber qué plantilla usar para crear la pieza final. [10]

## 2.8. Transductor ultrasónico

Un transductor ultrasónico es un dispositivo que puede generar ondas ultrasónicas y recogerlas. Un transductor es un dispositivo capaz de convertir una forma de energía en otra. La cabeza es un elemento importante de la ecografía. En ultrasonido, la cámara es un sensor. Cuando se aplica una carga eléctrica a la cámara, la cámara convierte esa energía en oscilaciones. Esta cámara consta de varios elementos, cada uno de estos juega un papel importante en la creación de las vibraciones, que poseen forma de ondas sonoras, transmitiendo estas ondas en el cuerpo y captando ecos en él. A esto se le conoce como el efecto piezoeléctrico. Un transductor altamente amortiguado es el que permite la eliminación de defectos a una corta distancia, lo que acorta el pulso reflejado. [15]

Es importante conocer la aplicación específica para la que se requiera este sensor, ya que se debe de seleccionar según su sensibilidad, que es la capacidad del detector para detectar pequeños defectos y resolución que es la separación de las dos señales producidas por dos reflectores cuando están cerca y perpendiculares o paralelos al haz. Se pueden fabricar dispositivos de enfoque para mejorar la resolución y la sensibilidad. [16]

Wong [16] menciona que el transductor ultrasónico consta de 3 partes principales, las cuales son:

### 2.8.1. Cristal piezoeléctrico

Es el núcleo del transductor, que es el componente activo del dispositivo, está hecho de material piezoeléctrico cristalino el cual se comprime y diluye para convertir la energía eléctrica en energía ultrasónica y viceversa.

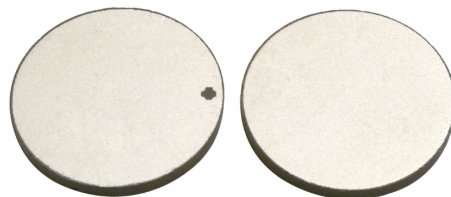


Figura 2.5: Figura de un cristal piezoeléctrico, tomada de [13]

### 2.8.2. Backplate

Es de un material muy denso, posee unas propiedades de absorción de sonido extremadamente altas. Su propósito es controlar la vibración mediante la absorción de la energía radiante de la parte posterior del cristal. Se pueden obtener sondas de alta resolución y excelente atenuación al combinar la impedancia negativa del sustrato con la resistencia del vidrio. A medida que cambia el material del sustrato, la impedancia acústica puede cambiar. Esto sin duda afectará a los sensores, ya que la resolución puede ser mucho mayor en términos de amplitud o sensibilidad de la señal.

### 2.8.3. Placa de desgaste

Se monta una placa de desgaste en el sensor para proteger el cristal piezoeléctrico del medio ambiente. Los factores ambientales que protege suelen ser la abrasión y la corrosión. Esta placa suele actuar como un transductor acústico entre el vidrio y el agua, una cuña o línea de retardo, normalmente en un transductor sumergible.

## 2.9. Ultrasonido

El ultrasonido es aquel sonido que va más allá del nivel del que el oído humano puede percibir, la mayoría de los transductores generan ultrasonido por encima de 200 kHz; el ultrasonido solo comienza a 20 kHz. Estos sonidos son muy similares a las ondas sonoras normales, sin embargo, tienen una longitud de onda mucho más corta. Esta característica en particular hace que estas ondas sean más adecuadas para la detección de defectos menores. Son estas longitudes de onda cortas las que hacen que los transductores ultrasónicos sean de mucha utilidad en la inspección, detección, inspección y medición de diversos materiales. [16]

## 2.10. Baudios

Es una medida de la velocidad de transferencia de los datos, es el número de caracteres que se pueden enviar por segundo, por lo que un baudio equivale a un carácter por segundo. La tasa utilizada va a depender de la aplicación específica con la que se esté trabajando. [2] Para este proyecto, se trabajó con 115200 baudios.



## Capítulo 3

# Desarrollo

### 3.1. Análisis de las señales

Realizando un análisis del hardware se observó que el componente principal de la placa de la máquina CNC modelo HR0532B era el microcontrolador ATMEGA328P, componente núcleo de Arduino uno, por lo que su funcionamiento base es muy similar a estos. También se encontraba en la placa el circuito integrado CH340G, el cual se encarga de realizar la conversión de la señal USB a serial, para que la máquina pueda recibir las instrucciones de desplazamiento. Al conocer estos componentes se determinó que el primer paso a seguir era interceptar la comunicación de la computadora a la placa, esto con el fin de conocer de qué forma llegaban las instrucciones a la máquina y así poder replicarlas desde otro software.

Para ello se utilizó un software de monitor serial llamado “Serial Port Monitor”, el cual presentaba la información transmitida desde la computadora hasta la placa. Para ver esta información es necesario configurar el Serial Port Monitor, para ello se debe modificar la información predeterminada de lo seleccionado en la Figura 3.1; con el puerto con el que se conecta al Arduino “COM7 ”y los 115200 baudios con los que se están trabajando.

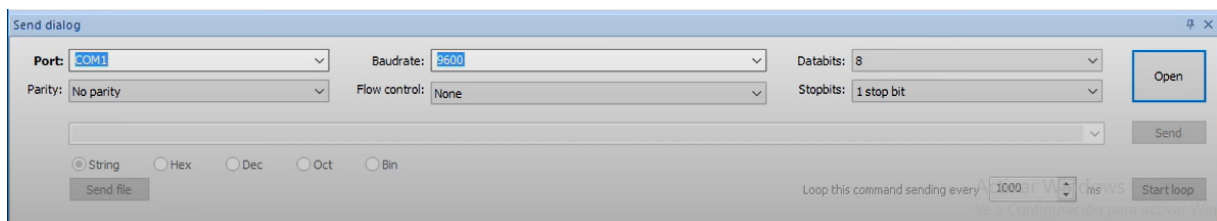


Figura 3.1: Figura de las configuraciones generales del Serial Port Monitor. Creación propia.

Una vez realizadas estas modificaciones se realiza una sesión en la que solo se necesita solicitar la “terminal view ”como se muestra en la Figura 3.2.

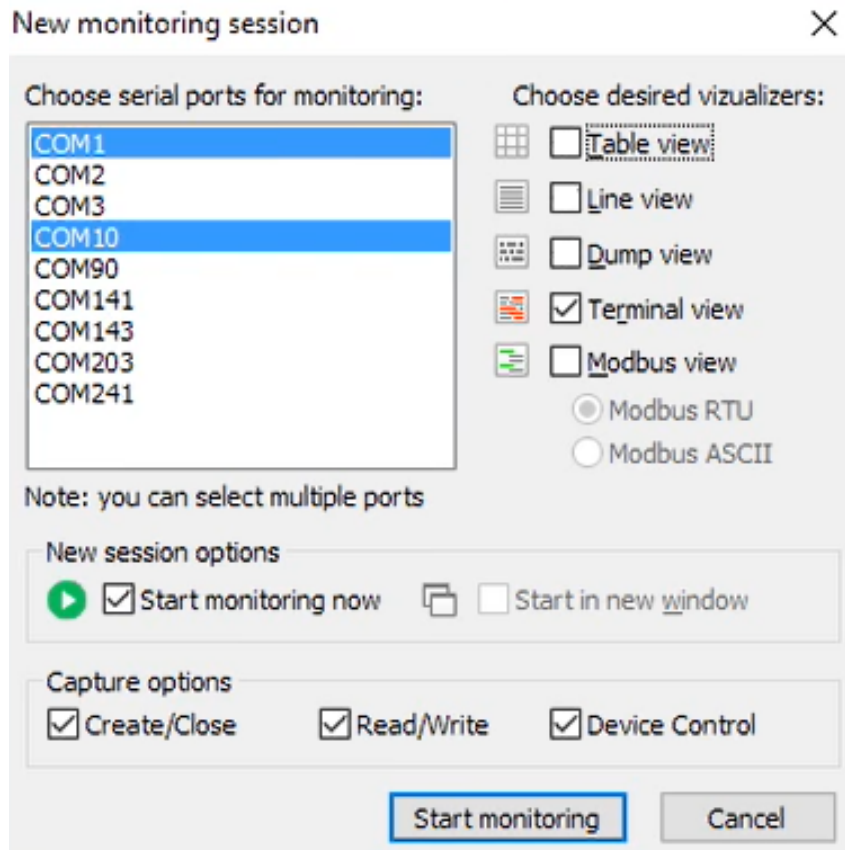
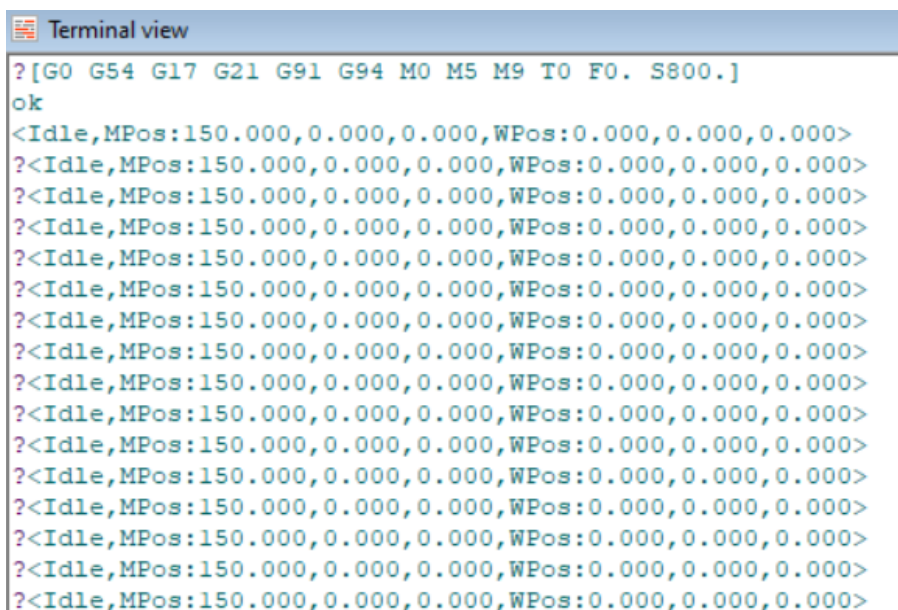


Figura 3.2: Figura de la solicitud de la terminal en el Serial Port Monitor. Creación propia.

Al realizar este procedimiento se presentaron los resultados mostrados en la Figura 3.3





```

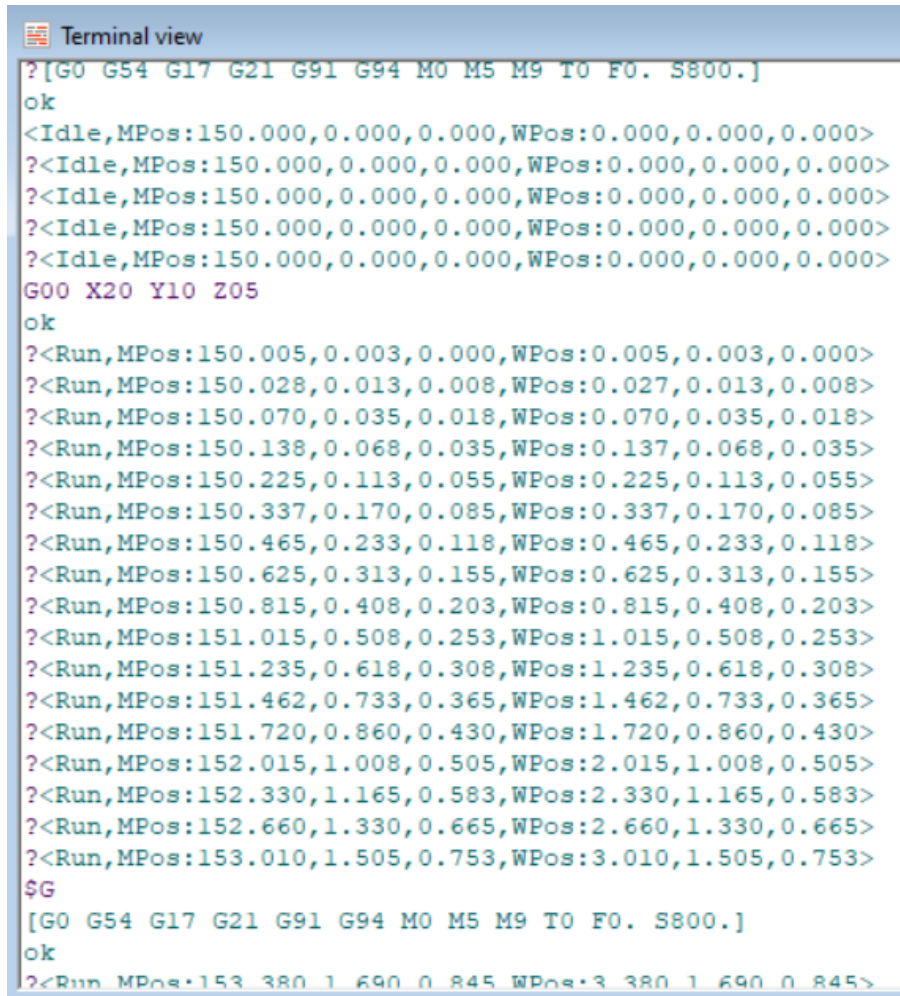
Terminal view
?[G0 G54 G17 G21 G91 G94 M0 M5 M9 T0 F0. S800.]
ok
<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
?<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
?<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
?<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
?<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
?<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
?<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
?<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
?<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
?<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
?<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
?<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
?<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
?<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
?<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
?<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
?<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>

```

Figura 3.3: Figura de la terminal del software con las señales base enviadas y recibidas de la máquina CNC modelo HR0534B. Creación propia.

En ella se pueden observar las señales enviadas de la computadora, en este caso las mostradas en color morado, las cuales consisten en un signo de interrogación, esto se debe a que la computadora le está preguntando constantemente cual es su posición, a lo que la placa le responde con las coordenadas de la posición en la que se encuentra en ese preciso instante, así como también la información del movimiento en sus ejes mostrado en color verde.

Mientras que en la Figura 3.4 se muestra la información enviada a la placa cuando se solicita movimiento en coordenadas específicas ingresándolo manualmente en la consola mostrada en la Figura 2.4. Para ese ejemplo se solicitó que el desplazamiento a las coordenadas: 20 en el eje X+, 10 en el eje Y+ y 5 en el eje Z+. En ella se puede ver la solicitud de las nuevas coordenadas en color morado, así como el signo de interrogación para consular su ubicación actual mientras se realiza el movimiento a las nuevas posiciones. Mientras que en color verde se puede ver cómo se va moviendo la máquina hasta llegar a la posición solicitada.



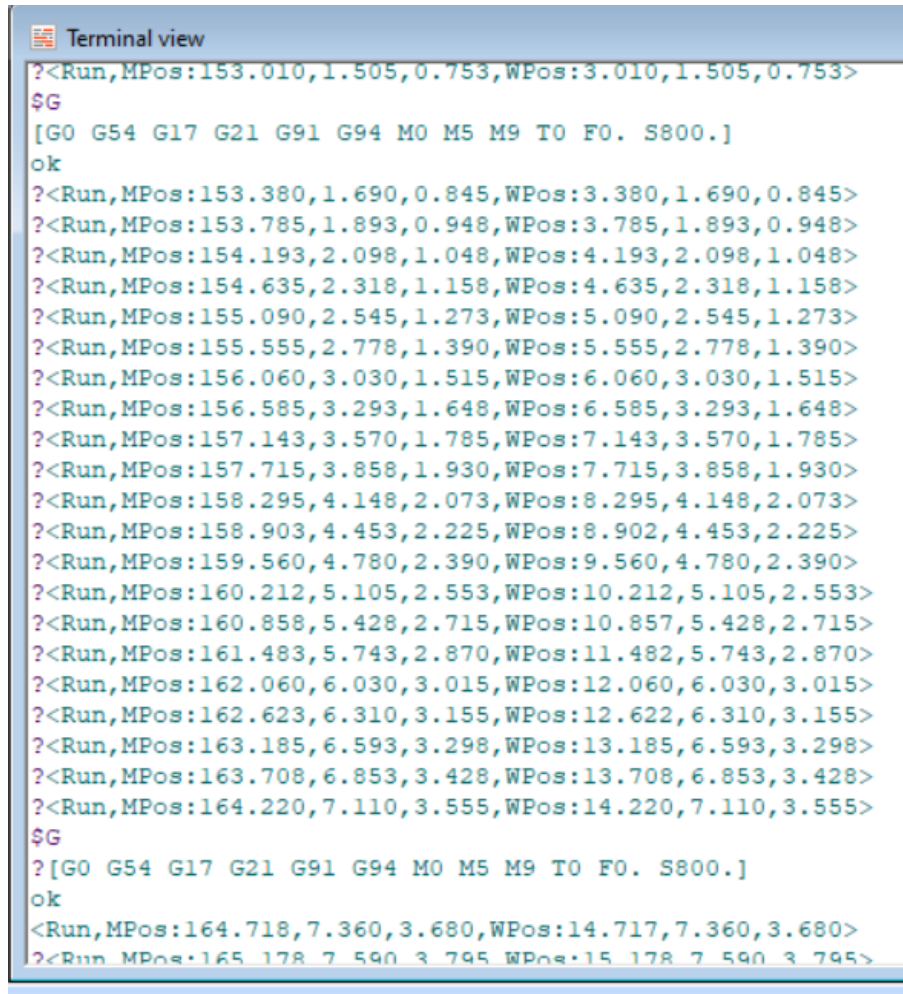
```

Terminal view
?[G0 G54 G17 G21 G91 G94 M0 M5 M9 T0 F0. S800.]
ok
<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
?<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
?<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
?<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
?<Idle,MPos:150.000,0.000,0.000,WPos:0.000,0.000,0.000>
G00 X20 Y10 Z05
ok
?<Run,MPos:150.005,0.003,0.000,WPos:0.005,0.003,0.000>
?<Run,MPos:150.028,0.013,0.008,WPos:0.027,0.013,0.008>
?<Run,MPos:150.070,0.035,0.018,WPos:0.070,0.035,0.018>
?<Run,MPos:150.138,0.068,0.035,WPos:0.137,0.068,0.035>
?<Run,MPos:150.225,0.113,0.055,WPos:0.225,0.113,0.055>
?<Run,MPos:150.337,0.170,0.085,WPos:0.337,0.170,0.085>
?<Run,MPos:150.465,0.233,0.118,WPos:0.465,0.233,0.118>
?<Run,MPos:150.625,0.313,0.155,WPos:0.625,0.313,0.155>
?<Run,MPos:150.815,0.408,0.203,WPos:0.815,0.408,0.203>
?<Run,MPos:151.015,0.508,0.253,WPos:1.015,0.508,0.253>
?<Run,MPos:151.235,0.618,0.308,WPos:1.235,0.618,0.308>
?<Run,MPos:151.462,0.733,0.365,WPos:1.462,0.733,0.365>
?<Run,MPos:151.720,0.860,0.430,WPos:1.720,0.860,0.430>
?<Run,MPos:152.015,1.008,0.505,WPos:2.015,1.008,0.505>
?<Run,MPos:152.330,1.165,0.583,WPos:2.330,1.165,0.583>
?<Run,MPos:152.660,1.330,0.665,WPos:2.660,1.330,0.665>
?<Run,MPos:153.010,1.505,0.753,WPos:3.010,1.505,0.753>
$G
[G0 G54 G17 G21 G91 G94 M0 M5 M9 T0 F0. S800.]
ok
?<Run,MPos:153.380,1.690,0.845,WPos:3.380,1.690,0.845>

```

Figura 3.4: Figura de la terminal del software con las señales de movimiento enviadas y recibidas de la máquina CNC modelo HR0534B. Creación propia.

Para finalizar con el análisis del intercambio de información entre la computadora y la placa se obtiene que las notificaciones se envían por intervalos de 21 oraciones, como se observa en la Figura 3.5, dichos intervalos comienzan con la lista de los comandos del G-Code admitidos en el Grbl y el 'ok' que indica la aceptación de esos comandos por parte de la máquina.



```

Terminal view
?<Run,MPos:153.010,1.505,0.753,WPos:3.010,1.505,0.753>
$G
[G0 G54 G17 G21 G91 G94 M0 M5 M9 T0 F0. S800.]
ok
?<Run,MPos:153.380,1.690,0.845,WPos:3.380,1.690,0.845>
?<Run,MPos:153.785,1.893,0.948,WPos:3.785,1.893,0.948>
?<Run,MPos:154.193,2.098,1.048,WPos:4.193,2.098,1.048>
?<Run,MPos:154.635,2.318,1.158,WPos:4.635,2.318,1.158>
?<Run,MPos:155.090,2.545,1.273,WPos:5.090,2.545,1.273>
?<Run,MPos:155.555,2.778,1.390,WPos:5.555,2.778,1.390>
?<Run,MPos:156.060,3.030,1.515,WPos:6.060,3.030,1.515>
?<Run,MPos:156.585,3.293,1.648,WPos:6.585,3.293,1.648>
?<Run,MPos:157.143,3.570,1.785,WPos:7.143,3.570,1.785>
?<Run,MPos:157.715,3.858,1.930,WPos:7.715,3.858,1.930>
?<Run,MPos:158.295,4.148,2.073,WPos:8.295,4.148,2.073>
?<Run,MPos:158.903,4.453,2.225,WPos:8.902,4.453,2.225>
?<Run,MPos:159.560,4.780,2.390,WPos:9.560,4.780,2.390>
?<Run,MPos:160.212,5.105,2.553,WPos:10.212,5.105,2.553>
?<Run,MPos:160.858,5.428,2.715,WPos:10.857,5.428,2.715>
?<Run,MPos:161.483,5.743,2.870,WPos:11.482,5.743,2.870>
?<Run,MPos:162.060,6.030,3.015,WPos:12.060,6.030,3.015>
?<Run,MPos:162.623,6.310,3.155,WPos:12.622,6.310,3.155>
?<Run,MPos:163.185,6.593,3.298,WPos:13.185,6.593,3.298>
?<Run,MPos:163.708,6.853,3.428,WPos:13.708,6.853,3.428>
?<Run,MPos:164.220,7.110,3.555,WPos:14.220,7.110,3.555>
$G
?[G0 G54 G17 G21 G91 G94 M0 M5 M9 T0 F0. S800.]
ok
<Run,MPos:164.718,7.360,3.680,WPos:14.717,7.360,3.680>
<Run,MPos:165.178,7.590,3.795,WPos:15.178,7.590,3.795>

```

Figura 3.5: Figura de la terminal del software con las señales de movimiento enviadas y recibidas de la máquina CNC modelo HR0534B. Creación propia.

## 3.2. Código de Python

El código utilizado para realizar esa simulación fue tomado de [4].

```

1
2 import serial
3 import time
4 from threading import Event
5
6 BAUD_RATE = 115200
7

```

```

8 '''
9 Para esta funcion se trata de en la busqueda de un punto y coma, en
  la busqueda
10 de comentarios para estos ser removidos.
11 '''
12 def remove_comment(string):
13     if string.find(';') == -1:
14         return string
15     else:
16         return string[:string.index(';')]
17
18 '''
19 Esta funcion trata de eliminar los saltos de linea o espacios
  sobrantes que se
20 encuentran.
21 '''
22 def remove_eol_chars(string):
23     return string.strip()
24
25 '''
26 Esta funcion se encarga propiamente de buscar y enlazarse con el
  puerto serial
27 y poner el mensaje inicial en dicho puerto.
28 '''
29
30 def send_wake_up(ser):
31     ser.write(str.encode("\r\n\r\n"))
32     time.sleep(2)
33     ser.flushInput()
34
35 '''
36 Esta funcion se encarga de la lectura y espera de algun movimiento
  enviado desde
37 el puerto serial y esta constantemente esperando mediante la logica
  , la lectura
38 de algun movimiento para posteriormente ser enviado.
39 '''
40
41 def wait_for_movement_completion(ser, cleaned_line):
42     Event().wait(1)
43
44     if cleaned_line != '$X' or '$$':

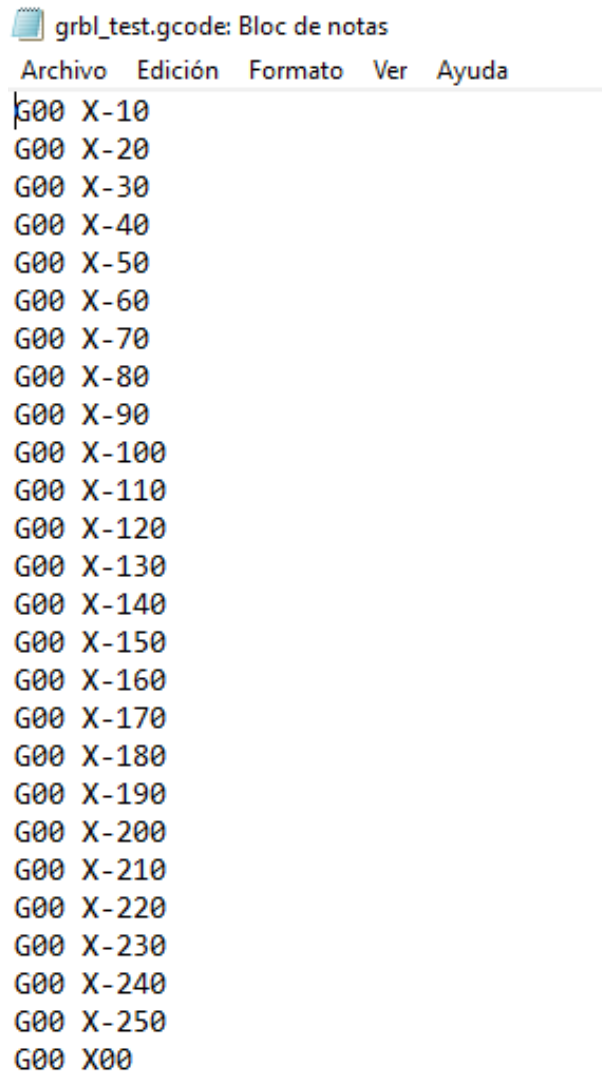
```

```
45
46     idle_counter = 0
47
48     while True:
49
50         ser.reset_input_buffer()
51         command = str.encode('?' + '\n')
52         ser.write(command)
53         grbl_out = ser.readline()
54         grbl_response = grbl_out.strip().decode('utf-8')
55
56         if grbl_response != 'ok':
57
58             if grbl_response.find('Idle') > 0:
59                 idle_counter += 1
60
61             if idle_counter > 10:
62                 break
63     return
64
65
66 def stream_gcode(GRBL_port_path, gcode_path):
67     # con conect se abre el archivo/conexion y la cierra si se ha
68     # ido la function scope
69     with open(gcode_path, "r") as file, serial.Serial(
70         GRBL_port_path, BAUD_RATE) as ser:
71         send_wake_up(ser)
72         for line in file:
73             # se limpia el gcode del archivo
74             cleaned_line = remove_eol_chars(remove_comment(line))
75             if cleaned_line: # se revisa que el string este vacio
76                 print("Sending gcode:" + str(cleaned_line))
77                 # convierte de un codificado string a byte a string
78                 # agregandosele una nueva linea
79                 command = str.encode(line + '\n')
80                 ser.write(command) # Envia g-code
81
82                 wait_for_movement_completion(ser, cleaned_line)
83
84                 grbl_out = ser.readline() # Espera para respuesta
85                 # con carga
86                 print(" : ", grbl_out.strip().decode('utf-8'))
```

```
83
84     print('End of gcode')
85
86     '''
87 Se hace la funcion main
88     '''
89
90 if __name__ == "__main__":
91     # GRBL_port_path = '/dev/tty.usbserial-A906L14X '
92     GRBL_port_path = 'COM7 '
93     gcode_path = "C:/Users/Fernanda/Desktop/grbl_test.gcode"
94
95     print("USB Port: ", GRBL_port_path)
96     print("Gcode file: ", gcode_path)
97     stream_gcode(GRBL_port_path, gcode_path)
98
99     print('EOF')
```

Con respecto a la modificación de la localización del archivo .gcode, se necesitó modificar las barras inclinadas a que se estaba trabajando en windows. Esto debido a que por defecto se coloca \ , pero el código lo detecta como un error, entonces se tuvo que reemplazar por /.

Como se puede ver en el código la máquina trabaja a 115200 baudios y utiliza la información de un bloc de nota en el cual se anotan las coordenadas a las que se quiera desplazar la máquina, la localización de esas nota debe de estar anotada en el código para que pueda leer las indicaciones es lo que se modifica para cambiar las coordenadas. En uno de los ejemplos que se utilizó para realizar las pruebas se solicitaron las coordenadas mostradas en la Figura 3.6, en ella se busca posicionar la máquina de manera que escaneara una muestra de aproximadamente 17 cm de largo realizando 25 toma de muestras mientras los recorre, una vez haya concluido con este trayecto regresa a la posición inicial.



```
grbl_test.gcode: Bloc de notas
Archivo  Edición  Formato  Ver  Ayuda
G00 X-10
G00 X-20
G00 X-30
G00 X-40
G00 X-50
G00 X-60
G00 X-70
G00 X-80
G00 X-90
G00 X-100
G00 X-110
G00 X-120
G00 X-130
G00 X-140
G00 X-150
G00 X-160
G00 X-170
G00 X-180
G00 X-190
G00 X-200
G00 X-210
G00 X-220
G00 X-230
G00 X-240
G00 X-250
G00 X00
```

Figura 3.6: Figura del bloc que muestra las coordenadas del ejemplo de movimiento solicitado. Creación propia.

### 3.3. Análisis de Resultados

Utilizando este código se consigue el resultado esperado, dando la posibilidad de una automatización del proceso y la gran posibilidad de realizar distintas configuraciones, debido a que las solicitudes del movimiento se producen en el código para realizar los movimientos existen dos formas, una de ellas es la que presenta mayor desventaja debido a que es más sencillo perder los límites de movimiento de la máquina y exceder su capacidad, ya que en determinado punto del desplazamiento se ve forzada lo

mejor es evitar llegar a ese extremo. Por lo que la mejor forma de realizar un desplazamiento sin perder la idea de los límites es realizar un listado de las coordenadas iniciales y al solicitar los movimientos sea dentro de este rango y tratando de regresar siempre a la posición inicial. Este fue el caso utilizado en el ejemplo mostrado en la Figura 3.6 en el que se muestra la solicitud de los 25 desplazamientos, realizándolos desde la posición inicial, que fue definida, no desde el extremo del movimiento de la máquina, sino desde el comienzo de la base de la plataforma inferior hasta el punto 250 en el eje X- que es un punto seguro unos centímetros antes del límite de movimiento y regresando a la posición inicial para no perder ese punto. Es importante agregar que relizar el movimiento por medio del código no modifica las direcciones de los ejes Y y Z, sin embargo, el eje X sí presenta modificaciones, ya que el X- se desplaza hacia la derecha y el X hacia la izquierda.



## Capítulo 4

# Conclusiones y recomendaciones

**A**L FINALIZAR la ejecución teórica y experimental del presente proyecto, se pueden brindar las siguientes conclusiones y recomendaciones.

### 4.1. Conclusiones

- Se obtuvo respuestas satisfactorias del código, logrando la posibilidad de darle ordenes a la máquina para realizar movimientos, teniendo un breve descanso entre cada una de ellos.
- Con las respuestas obtenidas de la máquina se consigue una automatización en el proceso de la toma de muestras, permitiéndole al encargado no estar pendiente de la máquina para realizar cada movimiento, en lugar de eso solo debe anotar los movimientos deseados y correr el código.

### 4.2. Recomendaciones

- Cuando se modifique la localización del archivo .gcode, y si se está trabajando en windows puede que sea necesario modificar las barras inclinadas. Por defecto se coloca \ , sin embrago, el código lo detecta como un error, por lo que hay que modificarlo por / o por \\.
- Tratar de no forzar el desplazamiento de la máquina, se recomienda definir los parámetros iniciales, tanto el final como inicial, con el fin de evitar esto. Esto en el caso en que sea necesario modificar los límites definidos en el ejemplo dado de la Figura 3.6.
- Si se desea realizar movimientos en los ejes X, Y o Z, en caso de que sea necesario para ajustarlo a la muestra, lo mejor es regresarlas a la posición inicial al final del desplazamiento.

### 4.3. Dificultades

De las principales dificultades que se presentaron durante la elaboración de ese proyecto fueron las siguientes:

- La modificación del software de la placa de la máquina CNC, debido a que mientras se elaboraba la conexión con Python se modificó el software predeterminado sustituyéndose por Pyfirmata lo que impedía el envío de las solicitudes a la máquina. Afortunadamente se solucionó enviando el software del grbl [6] a la placa por medio de Arduino IDE. Con esto el funcionamiento de la máquina regresó a la normalidad.
- El desplazamiento irregular de la barra encargada del movimiento de la máquina, el problema se encuentra en un tornillo, el cual se encarga de asegurar su movimiento constante, este tornillo se cae con regularidad, lo que ocasiona que la máquina no detecte el giro y esta no se mueva. Esto permite que se pierdan los límites de movimiento. Este problema no se pudo solucionar durante el desarrollo de este proyecto, no obstante, al ser un problema físico de la máquina no es difícil solucionarlo a futuro.
- Las coordenadas límites de movimiento no son definitivas, estas se pueden modificar dependiendo de los movimientos que se realicen, del lugar donde se inicie y de que el desplazamiento no tenga ninguna alteración. Por esta razón no hay coordenadas fijas y suelen perderse con facilidad si no se regresa al inicio deseado después de cada recorrido. Este problema, al no ser físico de la máquina, puede ser más complicado de resolver, sin embargo, utilizando algún dispositivo externo, como sería el caso de un sensor capaz de enviar una señal a la máquina que le indique que detenga su movimiento, porque se encuentra cerca del límite de movimiento; esto evitaría que se vea forzada a un rango que no puede alcanzar. Es necesario aclarar que esto solo es una suposición para una posible solución que se podría intentar a futuro, sin embargo, esto no forma parte de este proyecto.

# Capítulo 5

## Anexo

### 5.1. Guía de uso de la máquina CNC modelo HR0534B con Python

Enviarle solicitudes de nuevas coordenadas a la máquina por medio de Python es muy sencillo, por lo que se requiere de simples pasos para conseguirlo, los cuales se detallarán a continuación.

#### Paso 1

Descargar el código utilizando el siguiente link: [https://github.com/Fersha13/Codigo-para-la-CNC/blob/47a9d723cc6721647624bfcf96d312520677efbc/Codigo\\_CNC.py](https://github.com/Fersha13/Codigo-para-la-CNC/blob/47a9d723cc6721647624bfcf96d312520677efbc/Codigo_CNC.py)

#### Paso 2

Se debe determinar el nombre del puerto en el administrador de dispositivos de la computadora una vez conectado el cable USB al que está vinculada la máquina. Una vez conocido el nombre del puerto se debe de colocar en el código en la línea 71 sustituyendo la palabra 'Puerto' por él.

#### Paso 3

Se debe crear un bloc de notas y guardarlo como un .gcode, después de eso es necesario agregar la dirección completa del archivo en la línea de código 72 sustituyendo la palabra 'Localización'. En este paso es necesario tener cuidado, si se trabaja con windows puede que sea necesario modificar las barras inclinadas. Por defecto se coloca \ , sin embargo, el código lo detecta como un error, por lo que hay que modificarlo por / o por \\..

#### Paso 4

Las instrucciones deben ir en el bloc de notas escritas en columna cada una debe de iniciar G00, luego indicar el eje en el que se desea realizar el movimiento y luego se debe indicar cuánto desea desplazarse. Ejemplo: G00 X10.

**Nota**

Direcciones de los ejes:

- Para el eje X, si se desea un desplazamiento hacia la izquierda se trabaja con X y con X- se mueve hacia la derecha.
- Para el eje Y, si se desea un desplazamiento hacia afuera se trabaja con Y y con Y- se mueve hacia la adentro.
- Para el eje Z, si se desea un desplazamiento hacia la abajo con Z y con Z- se mueve hacia la arriba.

# Bibliografía

- [1] Arduino comunicación serial. <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/proyectos-con-arduino/comunicacion-serial-arduino/>, May 2021.
- [2] Dulcine. Baudios - definición y explicación. <https://techlib.net/techedu/ baudios/>, Jan 2023.
- [3] Electrosito. ¿qué es el protocolo de comunicación serie rs232 y cómo funciona? <https://electrosito.com/que-es-el-protocolo-de-comunicacion-serie-rs232-y-como-funciona/>, Oct 2022.
- [4] Sam Freitas. Python\_to\_grbl/simple\_stream.py at main · sam-freitas/python\_to\_grbl. [https://github.com/Sam-Freitas/python\\_to\\_GRBL/blob/main/simple\\_stream.py](https://github.com/Sam-Freitas/python_to_GRBL/blob/main/simple_stream.py), Dec 2021.
- [5] Thomas Friebe. Home · gnea/grbl wiki. <https://github.com/gnea/grbl/wiki>, Oct 2021.
- [6] Gnea. Gnea/grbl: An open source, embedded, high performance g-code-parser and cnc milling controller written in optimized c that will run on a straight arduino. <https://github.com/gnea/grbl>, Aug 2019.
- [7] Rohde amp; Schwarz International. Qué es uart. [https://www.rohde-schwarz.com/es/productos/test-y-medida/osciloscopios/educational-content/que-es-uart\\_254524.html](https://www.rohde-schwarz.com/es/productos/test-y-medida/osciloscopios/educational-content/que-es-uart_254524.html), 2022.
- [8] Shenzhen Moski Tecnología Co. Ltd. Cnc 3018 instalation and instructions. <https://www.dropbox.com/s/nlpi86z2lu5zd8q/ArtCAM.rar?dl=0>.
- [9] Miguel Angel López. Ch340g ¿qué es? ¿cómo se instala? <https://www.aster-electronica.com/post/ch340g-qu%C3%A9-es-c%C3%B3mo-se-instala>, Apr 2021.
- [10] Alicia M. ¿qué es un g-code y cuál es su función en el proceso de impresión 3d? <https://www.3dnatives.com/es/g-code-proceso-impresion-3d-230920212/#!>, Sep 2021.
- [11] Alejandra Mujica. La máquina cnc, sus elementos y funcionamiento. programacion cnc. <https://www.crehana.com/blog/transformacion-digital/que-es-cnc/>, Jul 2021.
- [12] Alfonso Pérez. Micro commercial componentes mosfet de canal n de 1200 v. <http://www.incb.com.mx/index.php/articulos/78-microcontroladores-y-dsps/2546-conociendo-el-microcontrolador-nucleo-core-atmega328p-de-arduino-uno-mic019s>, Feb 2019.

- [13] Dongguan TaiMi. Cristal piezoeléctrico del transductor ultrasónico del disco del transductor de piezoceramic del alto rendimiento. <https://spanish.ultrasonic-pettrainer.com/sale-11266875-high-performance-piezoceramic-transducer-disc-ultrasonic-transducer-piezo-crystal.html/>.
- [14] Victor. La máquina cnc, sus elementos y funcionamiento. programacion cnc. <https://www.programacioncnc.es/maquina-cnc/>, Nov 2021.
- [15] Jessie Wong. Cómo funcionan los transductores ultrasónicos. <https://www.bjultrasonic.com/es/how-ultrasonic-transducers-work/>, Feb 2019.
- [16] Jessie Wong. Transductores ultrasónicos: Principios, tipos y aplicaciones. <https://www.bjultrasonic.com/es/things-you-need-to-know-about-ultrasonic-transducers/>, Feb 2019.