



**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA CON MENCIÓN EN
TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL
GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER EN INGENIERÍA
ELECTRÓNICA CON MENCIÓN EN
TELECOMUNICACIONES**

Implementación de un sistema CNC elaborado con RAEE para
dibujar circuitos PCB

PRESENTADO POR

Quiroz Olivares, Antony Elmer
Calero Juárez, John David Abraham

ASESOR

Vargas Cuentas, Natalia

Los Olivos, 2020

Implementación de un sistema CNC elaborado con RAEE para dibujar circuitos PCB

Antony Elmer Quiroz Olivares, John David Abraham Calero Juárez
Universidad de Ciencias y Humanidades, Facultad de Ingeniería Electrónica con Mención en Telecomunicaciones
Lima, Perú

antquiroy@uch.pe ; jhocaleroj@uch.pe

Asesor: Natalia Vargas Cuentas

Abstract— At present, the poor management of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) puts the environment and the health of the population at risk. In 2018, more than 50 million tons of WEEE were generated worldwide.

Electronic waste is more dangerous than plastic waste, as much of it is composed of various toxic elements. In this sense, this research aims to develop a system of Computerized Numerical Control (CNC) from resources composed of WEEE for the drawing of Printed Circuit Board (PCB).

By taking advantage of some electronic elements and devices that make up the WEEE, it is proposed to give them a new use, preventing them from becoming waste. Once the proposed system was implemented, a CNC machine was obtained for PCB made of materials collected from WEEE, which makes drawings whose dimensions reach a maximum area of 10cm^2 .

Keywords— WEEE, CNC, Recycle, PCB,

I. INTRODUCTION

Los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) son todos aquellos dispositivos electrónicos que utilizan energía eléctrica como fuente de aprovisionamiento, y que han sido descartados luego de su vida útil [1]. Los RAEE están conformados por diversas materias primas como metales (férreos y no férreos), vidrios, plásticos, maderas, etc [2]. De los RAEE, el 25% de sus componentes eléctricos y electrónicos son reutilizables, el 72% es reciclable y el 3% restante es altamente tóxico para el ambiente y los seres vivos [1] pues contienen sustancias peligrosas como el mercurio y el plomo.

En América durante el año 2016 se produjo un total de 11,3 toneladas métricas (Mt) de RAEE, esto representa el 25,3% de los RAEE mundiales, donde solo 1,9 Mt fue reciclado en el continente americano [3]. En el Perú se estima que durante el año 2018 se generó cerca de 46 000 toneladas de RAEE [4]. De todos estos residuos en el Perú tan solo se recicla el 2% [5]. La inapropiada gestión y tratamiento de estos residuos se convierte en un problema ambiental de gran magnitud, principalmente en aquellos países que no cuentan con la infraestructura, el control, normativas y las políticas adecuadas para el reciclaje.

Países desarrollados cuentan con organismos y políticas para la gestión de los RAEE promoviendo la reutilización y el reciclaje [6]. La entidad que promulga las normativas para la gestión y tratamiento de los RAEE en el Perú es realizada por el Ministerio del Ambiente (MINAM) el cual promueve, a través de distintos centros de acopio, el manejo responsable de los

RAEE y la valorización de este tipo de residuos a fin de que sean empleados en otros procesos productivos.

Una economía circular reemplaza la idea de “vida útil” de un dispositivo con los conceptos de reutilizar y aprovechar [7]. La economía circular es una economía sostenible para una sociedad que prioriza el cuidado y el empleo de los recursos [8] y que, además, vela por la preservación de su medio ambiente.

La mejor alternativa medioambiental que se puede adoptar es la reutilización de los RAEE, o al menos la reutilización de componentes que lo conforman evitando que formen parte de la “chatarra electrónica”. Un ejemplo relevante de que los componentes de los RAEE pueden ser aprovechados para elaborar otro producto se presenta en [1] donde los autores emplean residuos electrónicos para elaborar un sistema termosolar de una cocina de media temperatura para satisfacer necesidades de cocción de alimentos de personas que habitan en zonas rurales de Colombia.

En el trabajo de investigación [9], consiguen implementar, a partir de materiales reciclados y partes de computadoras, una impresora 3D, este equipo es capaz de elaborar prótesis a bajo costo para personas de limitados recursos en Perú mejorando la calidad de vida de las mismas.

En la investigación académica [10] estudiantes de la facultad de ingeniería electrónica y comunicaciones construyeron un moderno sistema CNC para dibujar PBC utilizando la tarjeta de desarrollo Arduino UNO y componentes electrónicos nuevos este sistema cuenta con una alta precisión en sus dibujos.

El contexto actual del Perú con respecto a los RAEE no es muy alentador, en tal sentido, este proyecto tiene como objetivo utilizar los RAEE y otros materiales reciclados para diseñar e implementar un sistema de Control Numérico Computarizado (CNC) capaz de dibujar circuitos de placa impresa (PCB). Para la etapa de construcción se emplearán lectoras DVD, cables eléctricos, residuos de aluminio y acrílico. Posteriormente se realizará una etapa de procesamiento de información con el microcontrolador Arduino UNO y para culminar se hará uso del software GRBL CONTROLLER para ejecutar la información procesada con lo cual se realizará el dibujo del circuito deseado sobre la baquelita.

Una vez culminada la implementación se realizarán pruebas de calidad del dibujo para determinar la precisión del sistema CNC implementado con RAEE.

II. METODOLOGIA

La metodología del sistema se desarrollará según el diagrama de bloques de la fig.1.

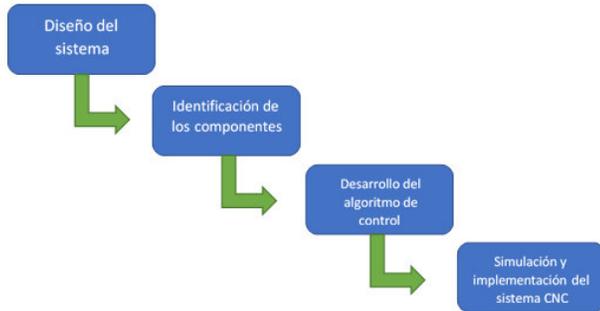


Figura 1 Diagrama de bloques del sistema.

En la primera parte se realizará un diseño del funcionamiento de sistema CNC orientado a el dibujo de circuitos PCB, Seguidamente se identificarán los componentes necesarios para su funcionamiento, posteriormente se desarrollará el algoritmo de control del sistema que será probado con una simulación, con dicha simulación del sistema CNC se verificará el funcionamiento y se calibrarán los parámetros del dispositivo, finalmente se concluirá con la implementación del sistema utilizando elementos de los RAEE.

A. Diseño del sistema

Los sistemas CNC utilizan un computador o microcontrolador para dirigir y monitorear los movimientos de una maquina [11]. Estos sistemas cuentan con una alta precisión pues los movimientos del sistema se ejecutan de manera programada y controlada, estas instrucciones enviadas por el controlador se traducen en corrientes eléctrica que activan los motores y ponen en acción el sistema. Este trabajo de investigación se basará en un diseño de sistema CNC plotter [10]. El sistema funcionará como se muestra en la fig.2.

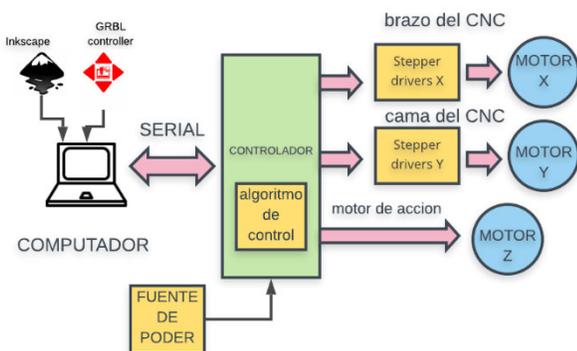


Figura 2 Diagrama del funcionamiento del sistema

Inicialmente se realiza el dibujo PCB en el software INKSCAPE, también pueden introducirse en este software diseños PCB

externos, el software traducirá el diseño en datos numéricos (Código G), seguidamente el software GRBL Controller, encargado también de la comunicación entre el computador y el controlador envía el código G al controlador, a continuación el controlador ejecuta las instrucciones basándose en el algoritmo de control, dichas instrucciones son traducidas en movimientos que serán ejecutados por los Stepper Drivers X y Y, el motor Z se encargará de accionar el marcador, obteniendo como resultado el dibujo PCB sobre la placa o superficie ubicada sobre la base del sistema CNC.

Las características mínimas requeridas con las que deben contar los dispositivos necesarios para el funcionamiento del sistema se muestran en la siguiente tabla.

Materiales	Características	
	Voltaje (V)	Corriente(A)
Shield CNC	12V – 36	5 - 8.5
Stepper Drivers	8 – 35	5 - 8.5
Microcontrolador	5V – 20	0.04 - 1
Motores paso a paso	8 – 35	0.6 - 2

Tabla 1 Características mínimas

Antecedentes similares coinciden en que el sistema CNC necesariamente debe contar con elementos que posean estas características como mínimo para garantizar un funcionamiento adecuado y en consecuencia un dibujo preciso.

B. Identificación de los componentes

En la actualidad existe una amplia variedad de dispositivos electrónicos capaces de satisfacer los requerimientos básicos para el diseño de un sistema CNC, para este trabajo se determinó que para el control de este sistema se utilizaran los siguientes dispositivos:

- Shield CNC, este elemento se utilizará como zócalo (soporte de comunicación) para los drivers A4988. Es un elemento común para el desarrollo de proyectos electrónicos relacionados a maquinas CNC y se adapta a las necesidades de este trabajo de investigación. La alimentación del Shield CNC es independiente de la alimentación del controlador.
- Arduino UNO, esta tarjeta de desarrollo se utilizará como controlador del sistema CNC. Es fácil de adquirir y manipular.
- Driver A4988, estos dispositivos permitirán ejecutar los movimientos de los motores paso a paso del sistema. Este módulo es ampliamente utilizado para el control de impresoras 3D.

Teniendo en claro los dispositivos electrónicos que controlaran el sistema CNC se debe determinar qué elementos adicionales que conformaran la estructura y de que artefactos de los RAEE podemos obtenerlos. Estos elementos se muestran en la siguiente tabla.

Componentes de un sistema CNC comercial	Componentes obtenidos de los RAEE
Motor Stepper Nema 17	Motor de sistema de posicionamiento del láser del lector DVD
Perfil V-Slot 2020 x centímetro (Guía de los ejes del CNC)	Estructura de posicionamiento del lector de DVD
Driver del motor paso a paso	Shield CNC y A4988
Perfiles de aluminio (estructura de soporte del CNC)	Partes de aluminio de un computador descartado (1.5 x 20 cm)
Caballote metálico (base de la CNC)	Tablilla de 30 x 30 cm de un planchador obsoleto y una pieza de acrílico obtenida de un case reciclado

Tabla 2 Elementos de la estructura física del sistema CNC

Como se observa es posible obtener de los RAEE elementos necesarios que cumplen con los requerimientos básicos para conformar la estructura del CNC, el 75% de estos elementos pueden obtenerse de un computador descartado.

C. Desarrollo del algoritmo de control

El sistema inicia con el software INKSCAPE, este software libre es un editor de gráficos vectoriales con la capacidad de convertir la información del dibujo en código G. El código G elaborado por INKSCAPE es enviado al software GRBL Controller que comunica y envía las instrucciones al Arduino para que las ejecute, previamente el Arduino debe ser programado con el Firmware GRBL para poder controlar tanto la velocidad como la posición de los motores, seguidamente los motores comenzaran a moverse consecuentemente realizando el dibujo del circuito introducido en INKSCAPE, al terminar de ejecutar la orden el sistema volverá a su posición de inicio esperando una nueva orden de dibujo.

El algoritmo de control ejecuta la secuencia que se muestra en el siguiente diagrama.

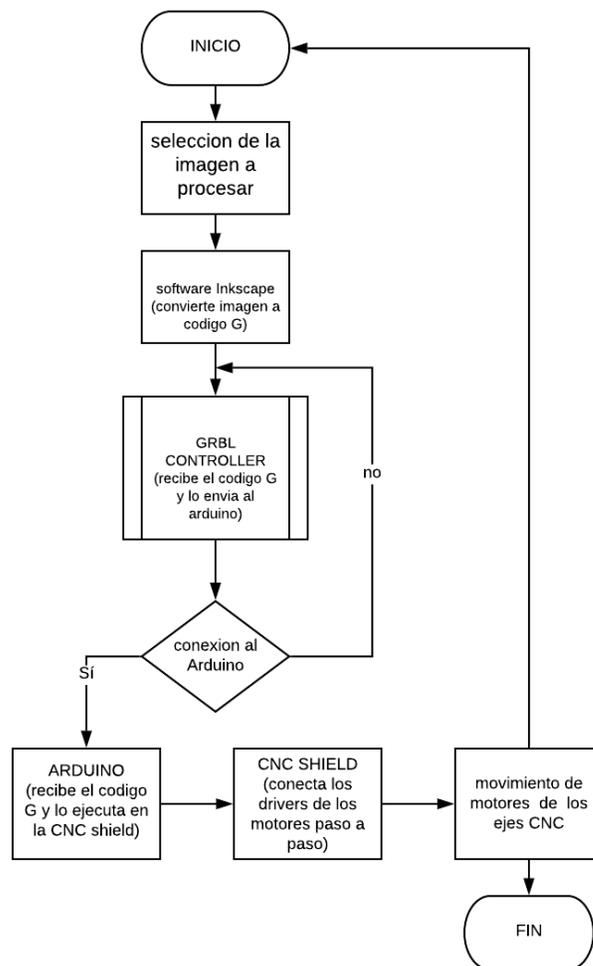


Figura 3 Diagrama de flujo del sistema

D. Simulación e implementación del sistema CNC

El comportamiento de la simulación es importante pues permite tener una visión de como se ejecutarán las instrucciones. A continuación se puede visualizar la simulación del bloque que ejecuta las instrucciones enviadas del computador. La conexión del controlador al computador se realiza a través del puerto USB. En el bloque de ejecución de instrucciones se puede visualizar el controlador Arduino UNO que ejecuta las instrucciones a través de los Stepper Drivers que a su vez están conectados a los motores, estos motores realizan movimientos sincronizados.

III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos son positivos pues el sistema tiene el comportamiento esperado. Las primeras pruebas de impresión de dibujo se muestran en la siguiente figura.

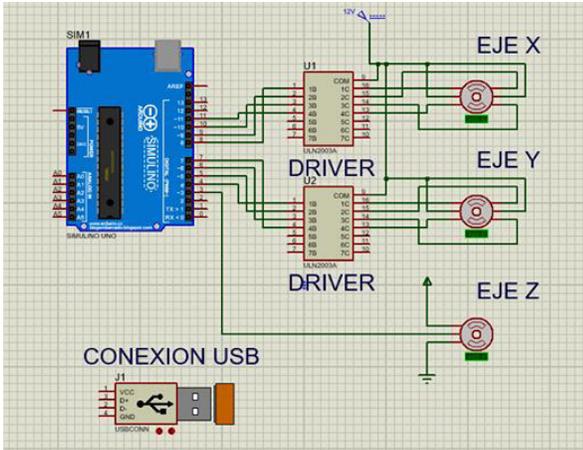


Figura 4 Simulación del sistema

Seguidamente efectuamos el ensamblaje del sistema CNC con las partes de los RAEE indicadas previamente en la sección B de la metodología, adicionalmente a estas partes de RAEE se debe asociar los dispositivos electrónicos indispensables para controlar todo el sistema que fueron indicados en la misma sección.

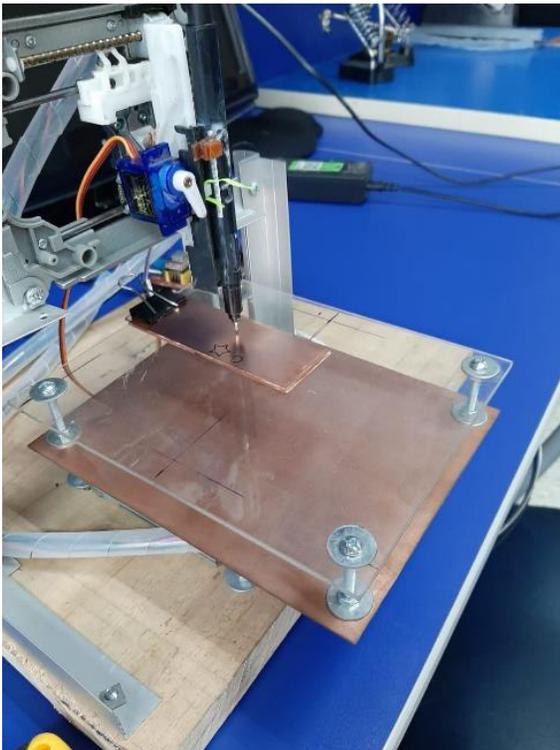


Figura 5 Sistema CNC implementado

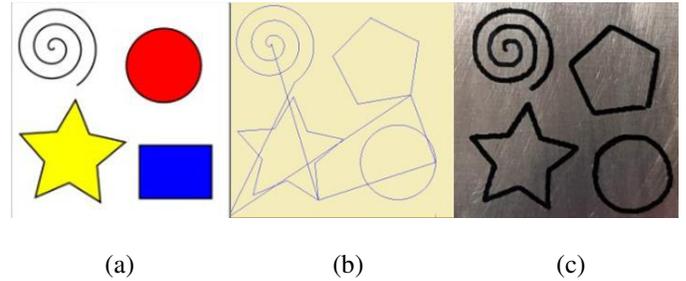


Figura 6 Dibujo básico realizado por el sistema CNC

En la figura 6 observamos un dibujo con formas y trazos simples, en (a) se observa el dibujo original, en (b) se visualiza el dibujo vectorizado por el software INKSCAPE y en (c) se puede observar el dibujo obtenido trazado en la bachelita por el sistema CNC.

En la siguiente imagen se puede observar que la precisión disminuye al incrementar la complejidad del dibujo que el CNC imprimirá sobre la bachelita.



Figura 7 Dibujo complejo realizado por el sistema CNC

La precisión y la velocidad de impresión del dibujo PBC depende estrictamente estado de la integridad y la calibración de los motores, para ello el proveedor del Driver A4988 proporciona la siguiente formula:

$$I_{tripMAX} = \left(\frac{V_{REF}}{8 * R_S} \right)$$

Donde RS es la resistencia del sensor (Ω) y VREF es el voltaje(V) de entrada en el pin REF.

Para nuestro caso el valor de ItripMAX seria:

$$I_{tripMAX} = \left(\frac{5}{8 * 100} \right)$$

$$I_{tripMAX} = 46mA$$

IV. DISCUSION

El presente proyecto representa una iniciativa y una ventaja a diferencia de otros sistemas CNC pues reemplaza el concepto de “vida útil” de los RAEE. La idea principal de este proyecto se basa en reutilizar elementos de RAEE para elaborar otro dispositivo que sea útil y necesario.

Para empezar, este proyecto coincide con dos de nuestros antecedentes referenciados [1][9] donde la idea central es el empleo de RAEE para producir dispositivos que sean provechosos, en comparación con nuestra referencia [10] donde es evidente que todos los elementos que conforman el dispositivo son nuevos, lo cual implica un costo mayor de implementación a diferencia de nuestro proyecto que solo utiliza un 25% de elementos nuevos que son de suma importancia para el funcionamiento del CNC lo cual nos otorga un ahorro del 75% en materiales de la estructura del sistema CNC.

V. CONCLUSIONES

Este proyecto puede cumplir un papel esencial en el campo académico para estudiantes que deseen implementar sus propias tarjetas de desarrollo puesto que es posible imprimir cualquier circuito electrónico que podamos diseñar, adicionalmente el costo de implementación se reduce a la adquisición de tres elementos de control del sistema señalados previamente puesto que los elementos adicionales pueden ser obtenidos a partir de RAEE.

El sistema CNC construido con RAEE se muestra viable, amigable con el medio ambiente y de gran utilidad para el desarrollo de nuevos circuitos electrónicos o para recuperar placas de circuitos dañados o realizar dibujos en serie para producir tarjetas con las mismas características.

Una limitación del sistema propuesto reside en recuperar motores en buen estado debido a que la precisión del dibujo depende mucho de estos dispositivos electrónicos.

VI. REFERENCIAS

- [1] G. A. Mina Mera, J. A. V. Pereira, and J. F. F. Marulanda, “Design and implementation of a thermosolar system with waste of electrical and electronic equipment,” *Prod. y Limpia*, vol. 13, no. 2, pp. 89–102, 2018, doi: 10.22507/pml.v13n2a10.
- [2] SAN ANTONIO RECYCLING, www.sar.pe [Online]. Available: <https://www.sar.pe/el-manejo-adeecuado-de-los-raee-es-urgente-en-el-peru/>.
- [3] Baldé; C. P.; Forti; Gray; Kuehr; P.; R.; Stegmann; V., *residuos electrónicos 2017 Cantidades , Flujos , y Recursos*. 2017.
- [4] “27210-ministerio-del-ambiente-promueve-la-valorizacion-de-los-residuos-de-aparatos-electricos-y-electronicos @ www.gob.pe.” [Online]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/27210-ministerio-del-ambiente-promueve-la-valorizacion-de-los-residuos-de-aparatos-electricos-y-electronicos>.
- [5] Ministerio del Ambiente, www.minam.gob.pe

[Online]. Available: <http://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/en-el-peru-solo-se-recicla-el-1-9-del-total-de-residuos-solidos-reaprovechables/>.

- [6] “las-tendencias-de-los-residuos-electronicos-en-el-mundo-vnxG @ www.retema.es.” [Online]. Available: <https://www.retema.es/noticia/las-tendencias-de-los-residuos-electronicos-en-el-mundo-vnxG>.
- [7] S. Arrau, *El arte teatral: teoría y práctica*. Lima: Fondo Editorial UCH, 2010.
- [8] M. Santiago, G. Romero Irene Merí Ana García-Arranz, and H. Guerrero, “Luis Seguí Rubí Medina Gestión de residuos y economía circular We make it happen,” pp. 1–46, 2018, [Online]. Available: https://www.diarioabierto.es/wp-content/uploads/2018/09/Gestion_residuos_EAE.pdf.
- [9] V. Romero-Alva, W. Alvarado-Diaz, and A. Roman-Gonzalez, “Design of a 3D Printer and Integrated Supply System,” Proc. 2018 IEEE 25th Int. Conf. Electron. Electr. Eng. Comput. INTERCON 2018, pp. 1–4, 2018, doi: 10.1109/INTERCON.2018.8526458.
- [10] W. W. H. Mya Thandar Kyu, “Design and Implementation of XY-Plotter,” 2018 13th World Congr. Intell. Control Autom., vol. 7, no. 7, pp. 507–511, 2018, [Online]. Available: <http://ijsetr.org/wp-content/uploads/2018/07/IJSETR-VOL-7-ISSUE-7-507-511.pdf>.
- [11] “introduccion-a-la-tecnologia-cnc, www.demaquinasyherramientas.com.” [Online]. Available: <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/introduccion-a-la-tecnologia-cnc>.