

DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA EXCAVADORA TELEOPERADA

Design and manufacture of the prototype of a teleoperated excavator machine

Ramiro Arroyo¹, Jhon Carlos¹, Larry Gamboa¹, Elvis Tomas¹

¹ Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Continental, Junín, Perú

Resumen

En un país en constante crecimiento, el rubro de la construcción civil está en todas partes. Como base de toda obra tenemos la preparación del terreno, que es realizada por mano de obra humana o maquinaria pesada. Ambos trabajos son arduos y duros de realizar; por ello, pensando en esta situación y con motivo de ayudar con esta actividad, se desarrolló el presente proyecto que consiste en la elaboración del prototipo de una máquina excavadora teleoperada, con un previo diseño mecánico y cálculos fundamentales para su fabricación, con el objetivo de facilitar, mejorar, adecuar y favorecer las condiciones de los trabajos que se realizan en el rubro de la construcción civil, especialmente, en las actividades de movimiento de suelos, donde se ejecutan obras, como por ejemplo: elaboración de cimientos, preparación de terrenos, instalación de tuberías para agua, tendido subterráneo de cables, creación de canales, instalación de tuberías de desagüe, creación de surcos, labrar la tierra, entre otros.

El control de la máquina excavadora se realizará mediante teleoperación por señal Bluetooth con un módulo HC-05; permitirá, además, al operador trabajar de forma segura, cómoda y con total dominio sobre la máquina, y así garantizar de esta forma una labor efectiva y mucho más fácil en el trabajo. La excavadora se movilizará mediante un sistema de tracción tipo oruga, es decir que será todo terreno; la herramienta removerá la tierra con un tornillo sinfín mediante un movimiento continuo para transmitir material. El control de la máquina se hará mediante una placa Arduino, implementada con un programa de la plataforma Blynk, 2 motores DC (corriente continua) conectados de forma directa y 3 motores de corriente continua controlados por puentes H; el prototipo tendrá dimensiones de 20 cm de ancho, 2 cm de largo y 30 cm de altura, todo estará perfectamente configurado e instalado para su demostración.

Palabras clave: Prototipo; máquina; excavadora; teleoperación; construcción

Abstract

In a country in constant growth, the heading of civil construction is everywhere and as the basis of all work we have the preparation of the land that is prepared by human labor or heavy machinery, both hard and hard work to perform, and to help with. This activity was elaborated in the present project, which consists in the elaboration of the prototype of a teleoperated excavator machine with a previous mechanical design and fundamental calculations for its manufacture, to facilitate, improve, adapt and favor the conditions of the works carried out in the field of civil construction, especially in soil movement activities, where works are carried out such as: foundation preparation, land preparation, installation of water pipes, underground cable routing, creation of canals, installation of drainage pipes, creation of furrows, tilling the land, among others.

The control of the excavator machine will be carried out by signal teleoperation in Bluetooth with an HC-05 module, which will allow the operator to work safely, comfortably and with complete mastery over the machine, and thus guaranteeing effective and effective work, much easier at work. This excavator will be mobilized by means of a traction-type traction system that means that it will be all terrain, the tool will remove earth with an endless screw through a continuous movement transmitting material, the whole machine will be controlled by an Arduino plate implemented with a platform program Blynk, 2 DC motors (direct current) connected directly and 3 DC motors controlled by H bridges; The prototype will have dimensions of 20 cm wide, 2 cm long and 30 cm high, all perfectly configured and installed for demonstration.

Keywords: Prototype; machine; excavating; teleoperation; construction.



I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la construcción en el país gana mucho terreno, tanto en las principales ciudades como en las zonas más alejadas (1), esto se debe a que las personas construyen casas para tener una mejor calidad de vida y los empresarios buscan terrenos para empezar un negocio o construir edificios, estas dos circunstancias hacen de esta actividad una de las principales en el país.

Dos de las principales actividades para empezar la construcción de una vivienda son la preparación del terreno y su cimentación (2), siendo este último el principal enfoque de nuestro proyecto. En una vivienda se construyen los cimientos, en una larga y ardua labor realizada por los trabajadores, quienes efectúan su trabajo apoyados por su gran desempeño físico (3) y sometidos a extremas temperaturas de las regiones y en peligro de sufrir graves lesiones si no cuentan con los respectivos cuidados (4).

Pero el problema no se presenta solo en los trabajos de cimentación, sino también en la instalación de agua, desagüe y en el tendido subterráneo de cables, donde se hace el mismo trabajo de crear canales, surcos y labrar la tierra (5).

Por todo lo mencionado, se busca la fabricación de una máquina excavadora que garantice la seguridad del trabajador, facilite el trabajo mediante la teleoperación y, sobre todo, mejore los procesos ya mencionados de una forma segura y eficaz.

II. MARCO TEÓRICO

Antecedentes

Son pocos los trabajos de investigación que refieren al rubro de construcción en el área de cimentación y canalización de suelos. En la actualidad, existen una gran variedad de máquinas para la preparación de suelos, pero

ninguna logra reemplazar el trabajo manual del obrero (6), y por ello se pensó en el diseño de la máquina excavadora.

Definición de términos importantes

Máquina: Conjunto de aparatos combinados que recibe energía y la transforma en otra más adecuada o para generar un efecto determinado (7).

Excavadora: Máquina propulsada sobre ruedas o cadenas con una estructura capaz de efectuar una rotación, que excava, carga y descarga material por la acción de una cuchara fijada a un conjunto de pluma y brazo (8).

Teleoperación: Tecnologías que comprenden la maniobra a distancia de un dispositivo por un ser humano. Por tanto, teleoperar es la acción de gobernar a distancia un dispositivo, y la realiza un ser humano (9).

Requerimientos de implementación

En el caso de que exista una falla o no funcione correctamente debido a problemas técnicos o desprendimiento de piezas, deberá comunicarse con el servicio técnico.

Diseño de la máquina excavadora

A continuación, se expondrá cómo se realizó el diseño de los distintos sistemas que conforman el prototipo de la máquina excavadora. Cabe resaltar que las dimensiones y los materiales varían sustancialmente de la excavadora real, mas no el diseño.

Sistema mecánico

En el diseño del sistema mecánico, los cálculos son fundamentales para fabricar el modelo real de la excavadora (12), asimismo, nos permiten realizar una selección adecuada de las piezas y los materiales que se requieren en la fabricación de la excavadora.

Diseño en software

En caso del prototipo, se realizó el diseño del sistema mecánico en Solidworks (Figuras 1 y 2) para posteriormente construirlo y armarlo en material MDF.

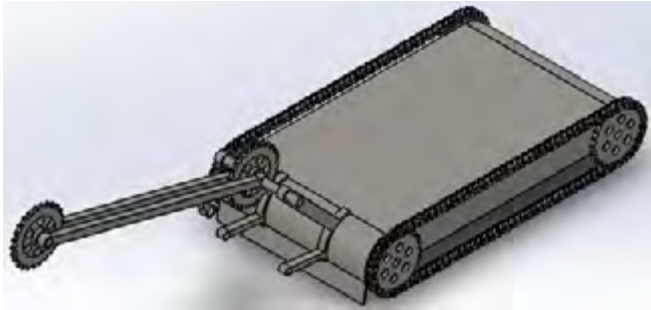


Figura 1. Vista isométrica del sistema mecánico en Solidworks.

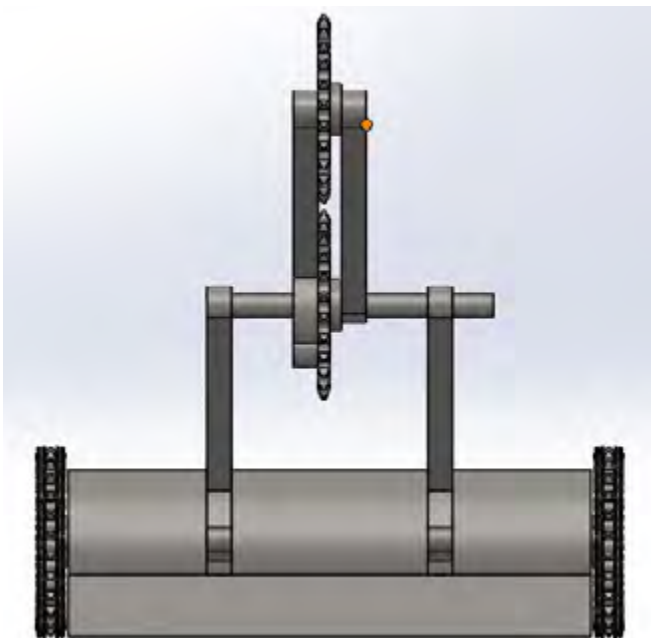


Figura 2. Vista frontal del sistema mecánico en Solidworks.

Dimensiones

Las dimensiones del prototipo del sistema mecánico son las siguientes: 20 cm de ancho, 25 cm de largo y 30 cm de altura con brazo extendido.

Movimiento

La excavadora se desplazará mediante un sistema de tracción tipo oruga, que consta de un conjunto de eslabones modulares que hacen posible un movimiento estable en terrenos irregulares (13).

Herramienta

La herramienta será la encargada de excavar la tierra y, mediante un movimiento continuo, de transmitir el material al tornillo sinfín que se encargará de removerlo hacia el exterior.

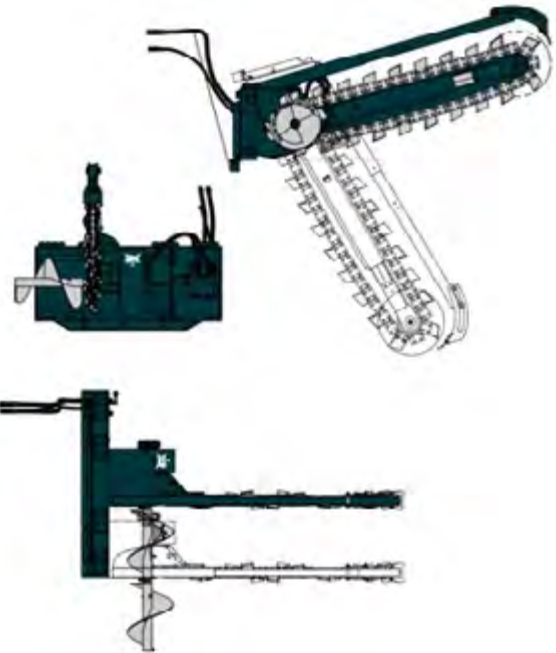


Figura 3. Vista lateral, frontal y superior de la herramienta de trabajo

Dispositivos y sistema de control controlador

El control del sistema se realizará mediante una placa Arduino (Fig. 4), una plataforma de desarrollo libre que cuenta con un microcontrolador programable y una circuitería implementada para conectar los dispositivos (14).



Figura 4. Placa Arduino UNO



Sistema de locomoción

En cuanto al sistema de locomoción (Figura 5), el prototipo de la máquina excavadora estará compuesto por 5 motores DC de 12 voltios, motores de corriente continua que convierten energía eléctrica a mecánica, la cual al accionar su campo magnético ocasiona un movimiento rotatorio (15).

Los motores están distribuidos de la siguiente forma: 1 para el movimiento continuo de la parte móvil de la herramienta que se encargará de la excavación, 1 para el movimiento vertical de la herramienta (arriba y abajo), 1 para el movimiento del tornillo sin fin, 2 para la parte móvil de todo el sistema en el tractor oruga (1 en cada lado). De los 5 motores mencionados, 2 (movimiento continuo de la herramienta y el tornillo sin fin) se activarán de manera directa y los 3 restantes serán controlados por un puente H para cada motor, pues se necesitará invertir la polaridad de la conexión eléctrica del motor intercambiando los cables que lo alimentan (16), ya que necesitarán un control del cambio de giro.



Figura 5. Motor DC 12 voltio usado en el sistema de locomoción del prototipo.

Teleoperación

El sistema de teleoperación de la máquina excavadora se hará mediante Bluetooth, para

ello se utilizará un módulo HC-05 (Figura 6), que se conecta con Arduino a un Smartphone o PC de forma inalámbrica (17).

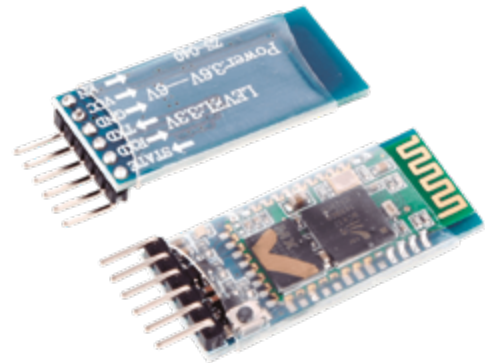


Figura 6. Módulo Bluetooth HC-05 para Arduino

En el celular se creará un programa implementado en la plataforma Blynk (Figura 7), aplicación para celulares que permite desarrollar programas para conectar los proyectos de Arduino con el celular (18).



Figura 7. Plataforma Blynk

Implementación

Una vez definidos los componentes del prototipo, se procede al ensamble y al montaje de las piezas y circuitos para luego dar paso a la programación n (19), en la cual se encontrará la parte más significativa del control del sistema.

La Figura 8 muestra una captura de pantalla de la interfaz Blynk y la Figura 9, las líneas de código de la programación utilizada en IDE.



Figura 8. Pantalla de la aplicación Blynk con el programa del Proyecto

```

TALLER$
1 int ma1 = 5;
2 int mb1 = 4;
3 int ma2 = 9;
4 int mb2 = 10;
5 int bra2 = 3;
6 int sinfin1 = 7;
7 int sinfin2 = 8;
8 int herr1 = 4;
9 int herr2 = 12;
10
11 int A = 0; int D = 0; int I = 0; int R = 0;
12 int M = 0; int N = 0; int S = 0; int H = 0;
13 int maximo = 0;
14
15 #define BLYNK_WRITE(DebugSerial)
16 #include <SoftwareSerial.h>
17 SoftwareSerial DebugSerial(0, 13); // RX, TX
18 #include <BlynkSimpleStream.h>
19
20 char auth[] = "edc7a20f270ca487b01be612fbc46cc";
21
22 BLYNK_WRITE(V0)
23 { // Velocidad
24   int vel = param.asInt();
25   maximo = vel;
26 }
27 BLYNK_WRITE(V1)
28 { //Avance
29   int A1 = param.asInt();
30   A = A1;
31 }
32 BLYNK_WRITE(V2)
33 { //Izquierda
34   int I1 = param.asInt();
35   I = I1;
36 }
37 BLYNK_WRITE(V3)
38 { //Derecha
39   int D1 = param.asInt();
40   D = D1;
41 }
42 BLYNK_WRITE(V4)
43 { //Retrosceso
44   int R1 = param.asInt();
45   R = R1;
46 }
47 BLYNK_WRITE(V5)
48 { //Brazo Levante
49   int M1 = param.asInt();
50   M = M1;
51 }
52 BLYNK_WRITE(V6)
53 { //Brazo baja
54   int N1 = param.asInt();
55   N = N1;
56 }
57 BLYNK_WRITE(V7)
58 { //Sinfin
59   int S1 = param.asInt();
60   S = S1;
61 }
62 BLYNK_WRITE(V8)
63 { //Brazomonta
64   int H1 = param.asInt();
65   H = H1;
66 }
67
68 void setup()
69 {
70   DebugSerial.begin(9600);
71   Serial.begin(9600);
72   Blynk.begin(Serial, auth);
73   pinMode(ma1, OUTPUT);
74   pinMode(mb1, OUTPUT);
75   pinMode(ma2, OUTPUT);
76   pinMode(mb2, OUTPUT);
77   pinMode(bra2, OUTPUT);
78   pinMode(herr1, OUTPUT);
79   pinMode(herr2, OUTPUT);
80   pinMode(sinfin1, OUTPUT);
81   pinMode(sinfin2, OUTPUT);
82   pinMode(herr1, OUTPUT);
83   pinMode(herr2, OUTPUT);
84 }
85
86 void loop() {
87   Blynk.run();
88   if (A == 1) {
89     analogWrite(ma1, 0);
90     analogWrite(mb1, maximo);
91     analogWrite(ma2, 0);
92     analogWrite(mb2, maximo);
93   }
94   else if (I == 1) {
95     analogWrite(ma1, 0);
96     analogWrite(mb1, maximo);
97     analogWrite(ma2, 0);
98     analogWrite(mb2, 0);
99   }
100   else if (D == 1) {
101     analogWrite(ma1, 0);
102     analogWrite(mb1, 0);
103     analogWrite(ma2, 0);
104     analogWrite(mb2, maximo);
105   }
106 }
    
```

Figura 9. Programa elaborado en el IDE de Arduino

III. DISCUSIONES

La creación del prototipo de excavadora es la base para solucionar el problema de los trabajadores que están sometidos a altas temperaturas y, por ende, están propensos a sufrir lesiones graves cuando realizan trabajos con maquinaria pesada. Se pretende solucionar el problema mencionado con la entrega de la máquina totalmente funcional y además cumplir con todos los requerimientos del prototipo (20).

La efectividad de la programación con Arduino se validará en el campo, cuando se utilice la máquina excavadora; posteriormente, a partir del uso y de la observación de los errores o complicaciones que se presenten, se corregirán las variaciones (21).





Cabe resaltar que el sistema Arduino funciona para plantear un diseño y obtener un prototipo, pero no es la herramienta correcta para desarrollar proyectos a gran escala, ya que, debido a que solo es posible hacer una programación simple, este sistema está dirigido para aficionados (22).

IV. CONCLUSIONES

El presente proyecto de investigación desarrolla un prototipo de un sistema real para cubrir todas las necesidades mencionadas. Los materiales y dispositivos que se usarán en la construcción del sistema real son más robustos que los del prototipo, ya que el sistema real estará expuesto a terrenos y ambientes hostiles.

El prototipo, que tiene como función principal exponer las principales funciones del diseño real de la máquina excavadora, ha presentado una efectiva funcionalidad.

Arduino es una excelente plataforma libre que ha permitido llevar a cabo de manera exitosa la ejecución del prototipo del presente proyecto.

La aplicación Blynk ofrece muchas ventajas cuando se desarrolla la conexión con Arduino, siendo la principal de ellas el ahorro de tiempo para crear una interfaz gráfica.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los colegas, docentes y, en especial, al Ing. Erick Vílchez por la asesoría brindada en la realización del proyecto.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- [1] BLÁZQUEZ, F. *Sociedad de la información y educación junta de extremadura* [online]. 2001. [Consulta 3 de octubre 2019]. Disponible en: <http://www.ub.edu/prometheus21/articulos/obsciberprom/blanquez.pdf>
- [2] MENDOZA, H. *Procedimiento constructivo de un edificio multifamiliar*. [Tesis de Licenciatura] 2011. Universidad Ricardo Palma. Disponible en: http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/442/2/Velarde_h.pdf
- [3] KNUT, R., SEEGAL, J. y WEEKS, J. Capítulo 93. Construcción Salud, prevención y gestión. En *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* vol. III [online]. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo 2012. pp. 1-60. [Consulta 3 de octubre 2019]. Disponible en: <https://bit.ly/3bwtizL>
- [4] MUÑOZ, A., HERRERÍAS, J. y MARTÍNEZ-VAL, José M. *La seguridad industrial: fundamentos y aplicaciones. Fundación para el Fomento de la Innovación industrial*, 2005. p. 733. [Consulta 3 de octubre 2019]. Disponible en: http://www.f2i2.net/web/publicaciones/libro_seguridad_industrial/lisi.pdf
- [5] AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos. *Diagnóstico y plan de gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Madre de Dios - Fase I*. 2011. Disponible en <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/3634>
- [6] PAREDES, R. *Programa para el cálculo de costos horarios de maquinaria: una necesidad gerencial*. [Tesis de Licenciatura]. 2012. Universidad Católica Andrés Bello.
- [7] GARCÍA F. *Industrialización, desenvolvimiento, maquinaria e seguridad laboral*. 2000. [PPT]. Presentación en la Xornada técnica ISSGA: Seguridad nos equipos de trabajo: diseño, adecuación e comercialización
- [8] BALLESTER, F., CASTRO, D. y LÓPEZ, S. *Los sistemas de control para maquinaria de movimiento de tierras*. *Revista de Obras Públicas* n.º 3, 402, 2000.
- [9] ENCALADA, A. *Sistema de guiado asistido para la ejecución de tareas virtuales con dispositivos hápticos*. [Tesis de Maestría]. 2009. Universidad Politécnica de Catalunya.
- [10] RAMÍREZ, C. Operador de maquinaria pesada. 2014, pp. 1-115.
- [11] SIERRA ÁLVAREZ, Antuán Gabriel. *Programa de Mantenimiento Preventivo para la Empresa Metalmeccánica Industrias AVM S. A.* [online]. 2004. [Tesis]. Universidad de Santander. [Consulta en línea 3 de octubre de 2019]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2004/112490.pdf>

- [12] NESTARES, H. *Propuesta de análisis de fallas de las excavadoras para medir su rentabilidad en la empresa BRYNAJOM S.R.L. 2017*. [Tesis de Licenciatura]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCPC/3673>
- [13] GUEVARA, F. *Análisis y ejecución de movimiento de tierras en una obra empleando el diagrama de curva masa*. [Tesis de Maestría], 2015. Disponible en <https://pirhua.udel.edu.pe/handle/11042/2441>
- [14] LÓPEZ-TARRUELLA, R. Arduino. *Sensorización y domotización de sistema de riego*. 2018. [Tesis de Licenciatura]. [Consulta en línea 3 de octubre 2019]. Disponible en: <https://bit.ly/2RyLxwI>
- [15] VARGAS-MACHUCA, F. *Máquinas eléctricas rotativas*. 1990. Lima, Megaprints Ediciones S. A.
- [16] EL YAKOUTI, M. *Sistemas integrados con Arduino*. 2017. [Tesis de Licenciatura]. [Consulta en línea 3 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/89274>
- [17] DANIEL. *El módulo bluetooth HC-05 Arduino y la conexión bluetooth*. 2017.
- [18] BIENDICHO-LLETÍ, F. *Comunicación Bluetooth entre Arduino UNO y Android aplicado a un detector de mentiras*. 2015, 50 pp. Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/57549>
- [19] FERNÁNDEZ, J. et al. *Diseño para fabricación y ensamblaje* [online]. 2010. Fundación Prointec [Consulta 3 de octubre 2019]. ISBN 978-84-613-6850-1. Disponible en: http://www.prointec.es/attachments/article/272/fichero_15_4333.pdf
- [20] GÓMEZ, M., CERVANTES, J. y GONZÁLEZ, P. *Notas del curso: Administración de Proyectos*. [online]. 2012 [Consulta 4 de octubre 2019]. México, Universidad Autónoma Metropolitana. Disponible en: http://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/librosec/Notas_Admon_de_Proyectos_v2_2.pdf
- [21] SANTIANA, P. y MARTEL, J. *Análisis y diseño de un prototipo de asistente técnico virtual en mantenimiento de computadoras, basado en inteligencia humana* [online]. 2015. pp. 167. [Tesis de Licenciatura]. Ecuador, Universidad Politécnica Salesiana. [Consulta en línea 4 de octubre 2019]. Disponible en <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10292/1/UPS-GT001182.pdf>
- [22] Dignal. *Porque Arduino no es la herramienta correcta*. [Blog]. 2015. [Consulta 8 de noviembre 2019]. Disponible en <http://dignal.com/porque-arduino-no-es-la-herramienta-correcta/>