



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**PROTOTIPO DE UN SISTEMA TRANSDUCTOR PARA EL ALCE DE LA
CAÑA DE AZÚCAR EN LA COSECHA MANUAL,
EN EL INGENIO MAGDALENA S. A.**

Favio Renato Cifuentes Morales

Asesorado por la Inga. Ana María Navarro Orozco

Guatemala, junio de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROTOTIPO DE UN SISTEMA TRANSDUCTOR PARA EL ALCE DE LA
CAÑA DE AZÚCAR EN LA COSECHA MANUAL,
EN EL INGENIO MAGDALENA S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

FAVIO RENATO CIFUENTES MORALES
ASESORADO POR LA INGA. ANA MARÍA NAVARRO OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

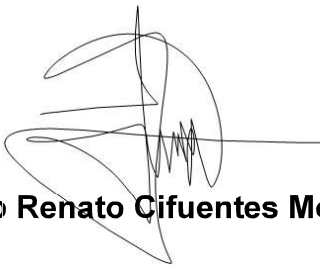
DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
EXAMINADOR	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruíz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROTOTIPO DE UN SISTEMA TRANSDUCTOR PARA EL ALCE DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN LA COSECHA MANUAL, EN EL INGENIO MAGDALENA S. A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 29 de abril de 2021.



Favio Renato Cifuentes Morales

Guatemala, 04 de noviembre de 2021

Ingeniero

Armando Alonso Rivera Carrillo

Director de Escuela

Mecánica Eléctrica

Facultad de Ingeniería, USAC

Estimado Ingeniero Rivera:

Hago de su conocimiento que he finalizado la revisión del trabajo de graduación del estudiante de ingeniería electrónica FAVIO RENATO CIFUENTES MORALES, CUI 2862859590108, Registro Estudiantil 201504314, titulado **“Prototipo de un sistema transductor para el alce de la caña de azúcar en la cosecha manual, en el Ingenio Magdalena S.A.”**.

El cual ha cumplido con los objetivos propuestos, por lo que doy mi aprobación al mismo. Así mismo, indico que tanto el estudiante Cifuentes Morales como la suscrita, somos responsables del contenido del trabajo de graduación referido.

Quedo en la mejor disposición de ampliar lo escrito en los párrafos precedentes.

Reciba un cordial saludo,


Ana María Navarro Orozco
ASESORA.

Ana María Navarro Orozco
Ingeniera Electrónica
Colegiado No. 16,894



Guatemala, 24 de febrero de 2022.
REF.EPS.DOC.92.02.2022.

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Favio Renato Cifuentes Morales** de la Carrera de Ingeniería Electrónica, Registro Académico No. **201504314** y CUI **2862 85959 0108**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"PROTOTIPO DE UN SISTEMA TRANSDUCTOR PARA EL ALCE DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN LA COSECHA MANUAL, EN EL INGENIO MAGDALENA S.A."**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
ASESOR - SUPERVISOR DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Eléctrica

c.c. Archivo
KIER/ra

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala 24 de febrero de 2022.
REF.EPS.D.56.02.2022.

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Rivera Carrillo.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"PROTOTIPO DE UN SISTEMA TRANSDUCTOR PARA EL ALCE DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN LA COSECHA MANUAL, EN EL INGENIO MAGDALENA S.A."** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Favio Renato Cifuentes Morales**, quien fue debidamente asesorado por la Inga. Ana María Navarro Orozco y supervisado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora y Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS

/ra

REF. EIME 67.2022.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, y aprobación del director de EPS al trabajo de Graduación del estudiante Favio Renato Cifuentes Morales: PROTOTIPO DE UN SISTEMA TRANSDUCTOR PARA EL ALCE DE LA CAÑA DE AZUCAR EN LA COSECHA MANUAL, EN EL INGENIO MAGDALENA S.A., procede a la autorización del mismo.



Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo

Guatemala, 18 de octubre de 2022.

Facultad de Ingeniería

Decanato

24189101-

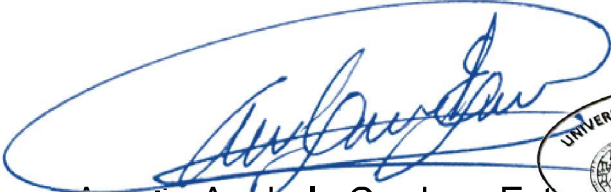
24189102

secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.514.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **PROTOTIPO DE UN SISTEMA TRANSDUCTOR PARA EL ALCE DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN LA COSECHA MANUAL, EN EL INGENIO MAGDALENA S. A.**, presentado por: **Favio Renato Cifuentes Morales**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, junio de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por guiar mi vida, por su misericordia y su gran amor manifestado en mi alrededor.
Mis padres	René Cifuentes (q. e. p. d.) y Lilian Morales, por su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi vida, por todo lo inculcado; siempre estaré agradecido.
Mi hermana	Amelia, por el cariño y todos los buenos momentos compartidos durante nuestra vida.
Mi sobrina	Fátima Cifuentes, por enseñarme de la vida desde su inocencia, y contagiarme su alegría.
Mis padrinos	Hugo Dávila (q. e. p. d.) y Verónica Morales, por su enorme afecto y apoyo, en especial en esta etapa profesional. Mi eterna gratitud a seres tan maravillosos.
Mi familia	Por todo el cariño y apoyo que me han brindado, por todos los momentos compartidos.
Mi novia	Heidy Mendoza, por ser parte de mi desarrollo personal y profesional, por el amor y el tiempo compartido.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme el acceso a la educación superior.
Facultad de Ingeniería	Por formarme académica y profesionalmente.
Laboratorios de Electrotecnia	Por darme la oportunidad de desarrollarme en un proceso didáctico de enseñanza y aprendizaje durante mi etapa estudiantil.
Mi asesora	Inga. Ana Navarro, por guiarme, su paciencia y contribución en la elaboración de este proyecto.
Mis amigos	Por todos los momentos compartidos, las palabras de aliento y todo el apoyo que me brindaron.
Mis compañeros	Por su aporte y la unión durante nuestro proceso académico.
Ingenio Magdalena S. A.	Por permitirme realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado en sus instalaciones.

**Área de Inteligencia
Agrícola**

Por el compañerismo demostrado durante la elaboración del proyecto, en especial a Gustavo Rosal, Enrique Coloch y Ángel Santos, por la confianza y apoyo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XIX
LISTA DE SÍMBOLOS	XXV
GLOSARIO	XXVII
RESUMEN	XXXIII
OBJETIVOS.....	XXXV
INTRODUCCIÓN	XXXVII
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Descripción de la empresa	1
1.1.1. Ubicación	1
1.1.2. Historia	2
1.1.3. Misión	6
1.1.4. Visión	6
1.1.5. Valores	6
1.1.6. Razón de ser	6
1.1.7. Organigrama.....	7
1.2. Descripción del problema	9
1.3. Cosecha manual de la caña de azúcar	11
1.3.1. Quema	12
1.3.2. Corte	13
1.3.3. Alce	14
1.3.4. Transporte	14
1.3.5. Pesaje.....	15
1.3.6. Descargue	15
1.4. Maquinaria que se utiliza en el alce de la caña de azúcar	16

1.4.1.	Alzadora de caña de azúcar SP 2254 John Deere.....	16
1.4.1.1.	Características	19
1.4.1.2.	Especificaciones.....	19
1.5.	Algoritmo para la detección del alce de la caña de azúcar con alzadora de caña SP 2254 John Deere	21
1.6.	Transductor	28
1.7.	Sensor.....	30
1.7.1.	Tipos de sensores	31
1.7.1.1.	Sensor magnético	32
1.7.1.1.1.	Efecto Hall.....	32
1.7.1.1.2.	Sensor de efecto Hall	35
1.7.1.2.	Sensor capacitivo	37
1.7.1.2.1.	Efecto capacitivo	37
1.7.1.2.2.	Capacitancia	37
1.7.1.2.3.	Sensor GLTV7	39
1.7.1.3.	Sensor de presión	41
1.7.1.3.1.	Sensor MPM 489	42
1.7.1.3.2.	Presostato	43
1.8.	Transmisión de datos digitales	45
1.8.1.	Transmisión paralela	45
1.8.2.	Transmisión serie	46
1.8.2.1.	Transmisión asíncrona	46
1.8.2.2.	Transmisión síncrona	47
1.9.	Microcontrolador	48
1.9.1.	Arduino.....	49
1.9.1.1.	Arduino Nano	50

2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	53
2.1.	Diseño de los circuitos de la tarjeta electrónica	53
2.1.1.	Alimentación	53
2.1.2.	Carga de la batería	56
2.1.3.	Lectura de sensores	58
2.1.3.1.	Detección de movimientos de la alzadora de caña SP 2254 John Deere	58
2.1.3.2.	Sensor de presión de aceite	62
2.1.3.3.	Sensor de nivel de combustible	63
2.1.4.	Señal de RPM del alternador	64
2.2.	Código de programación del microcontrolador Arduino Nano	65
2.2.1.	Detección de uñada	65
2.2.1.1.	Movimientos	68
2.2.1.1.1.	Pluma abajo	68
2.2.1.1.2.	Pluma arriba	69
2.2.1.1.3.	Giro a la derecha	70
2.2.1.1.4.	Giro a la izquierda	71
2.2.1.1.5.	Garra abierta	71
2.2.2.	Lectura de nivel de combustible	72
2.2.3.	Lectura de nivel de carga de la batería	73
2.2.4.	Lectura de las revoluciones por minuto	76
2.2.5.	Detalle de la comunicación serial	79
2.2.5.1.	Trama de telemetría	80
2.2.5.2.	Trama de uñadas	82
2.2.5.3.	Trama de movimientos	84
2.3.	Ensamblaje de la placa de circuito impreso en una caja	85
2.3.1.	Primera versión	86

2.3.2.	Segunda versión	92
2.4.	Instalación en máquina alzadora de caña de azúcar SP 2254 John Deere.....	98
2.4.1.	Primera versión	98
2.4.1.1.	Instalación de cable para la alimentación y recepción de señales de sensores.....	99
2.4.1.2.	Alimentación	104
2.4.1.3.	Sensores de efecto Hall	106
2.4.1.4.	Sensor GLTV7	108
2.4.1.5.	Sensor de presión	109
2.4.1.6.	<i>Enclosure</i>	110
2.4.1.7.	Señal de RPM	111
2.4.2.	Segunda versión	112
2.4.2.1.	Instalación de cable para la alimentación y recepción de señales de sensores.....	112
2.4.2.2.	Sensores de efecto Hall	115
2.4.2.3.	Sensor GLTV7	118
2.4.2.4.	<i>Enclosure</i>	119
2.5.	Detalle de fallas cubiertas	121
3.	FASE DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE	123
3.1.	Manual técnico	123
3.1.1.	Introducción.....	123
3.1.2.	Definiciones.....	124
3.1.2.1.	Definición de los símbolos.....	124
3.1.2.2.	Términos y definiciones.....	125
3.1.3.	Advertencias.....	126

3.1.4.	Características y datos técnicos	129
3.1.4.1.	Funcionamiento	130
3.1.4.2.	Datos técnicos	131
3.1.4.2.1.	Diagrama de conexiones	132
3.1.4.2.2.	Circuito electrónico	134
3.1.5.	Instalación en la máquina alzadora 2254	136
3.1.5.1.	Señal de RPM.....	142
3.1.5.2.	Instalación de sensor de combustible	142
3.1.5.3.	Cableado	146
3.1.5.4.	Armar un <i>enclosure</i>	153
3.1.6.	Galería.....	156
3.2.	Capacitación a los operadores de las máquinas alzadoras SP 2254 John Deere, para el uso del equipo electrónico y de la aplicación móvil	160
3.3.	Medios para informar los avances del proyecto a las autoridades competentes del Ingenio Magdalena, S. A., durante el desarrollo del Ejercicio Profesional Supervisado..	162
CONCLUSIONES		165
RECOMENDACIONES		167
REFERENCIAS		169
APÉNDICES		173

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama	8
2.	Partes de una alzadora SP 2254 John Deere	18
3.	Separación entre las lecturas de la tornamesa	22
4.	Pseudocódigo parte 1	23
5.	Pseudocódigo parte 2	24
6.	Diagrama de flujo para realizar una uñada.....	25
7.	Diagrama de flujo de uñada con la lectura de la garra cerrada	27
8.	Efecto Hall.....	33
9.	Aplicación de la regla de la mano derecha.....	34
10.	Acción de la fuerza de Lorentz	35
11.	Sensor NJK-5002C	36
12.	Capacitor de placas paralelas	38
13.	Capacitor con geometría cilíndrica	39
14.	Sensor GLTV7.....	40
15.	Sensor MPM 489.....	43
16.	Presostato SUCO 0196459031009	44
17.	Arduino Nano	51
18.	Circuito de alimentación	54
19.	Módulo convertidor de 12V a 5V en salida USB.....	55
20.	Módulo conversor DC-DC LM256	56
21.	Circuito de carga de la batería	57
22.	Circuito de lectura de movimientos	59
23.	MOSFET canal N	59

24.	Zonas de trabajo del MOSFET canal N	60
25.	Terminal block.....	61
26.	Circuito conversión de corriente a voltaje	63
27.	Circuito de nivel de combustible	64
28.	Circuito RPM del alternador	65
29.	Máquina de estados.....	66
30.	Máquina de 4 estados y 3 posibles entradas	67
31.	Gráfica de relación lineal de nivel de carga de la batería.....	75
32.	Gráfica de relación lineal revoluciones por minuto.....	79
33.	Diseño de la placa de circuito impreso.....	86
34.	<i>Enclosure</i> de la placa de circuito impreso, vista de planta.....	87
35.	<i>Enclosure</i> de la placa de circuito impreso	88
36.	<i>Enclosure</i> , perfil frontal	91
37.	<i>Enclosure</i> , perfil posterior	91
38.	Diseño de la placa de circuito impreso de ambos sistemas.....	93
39.	<i>Enclosure</i> segunda versión	94
40.	<i>Enclosure</i> segunda versión, perfil frontal	95
41.	<i>Enclosure</i> segunda versión, perfil posterior	95
42.	Instalación del módulo GPS.....	98
43.	Caja de conexiones de los sensores de efecto Hall.....	100
44.	Cableado de los sensores de efecto Hall hacia la cabina	101
45.	45. Cableado de los sensores de efecto Hall hacia la cabina	102
46.	46. Cableado del sensor de combustible	103
47.	Cableado del sensor de combustible hacia la cabina	104
48.	Panel de medición de la máquina alzadora	105
49.	Pines del tacómetro de la máquina alzadora	105
50.	Instalación de imán y sensores de efecto Hall	106
51.	Sensores de efecto Hall e imán	107
52.	Instalación de sensores de efecto Hall en la pluma	107

53.	Instalación de sensores de efecto Hall en la pluma	108
54.	Instalación del sensor de combustible en el tanque	108
55.	Instalación del sensor (presostato) en la palanca de mandos.....	109
56.	Base para los <i>enclosures</i>	110
57.	Base para los <i>enclosures</i> y base para la <i>tablet</i>	111
58.	Caja central de sensores de efecto Hall	113
59.	Caja central de sensores.....	114
60.	Sensor de efecto Hall en la base de la tornamesa	116
61.	Vista frontal, bases de los sensores de efecto Hall en la tornamesa ...	116
62.	Bases para sensores de efecto Hall en la tornamesa	117
63.	Base imán tornamesa	117
64.	Base de arco para sensores de levante de la pluma.....	118
65.	Base sensor de combustible	119
66.	Base del <i>enclosure</i>	120
67.	Base para la <i>tablet</i>	120
68.	Tarjeta electrónica	133
69.	Diagrama esquemático	135
70.	Perforación en el tanque	143
71.	Medición del fondo del tanque.....	143
72.	Medición del corte en el señor GLTV7	144
73.	Como limar la superficie	144
74.	Colocación de piezas	145
75.	Sensor sumergido en diésel	145
76.	Caja central de sensores de efecto Hall	148
77.	Ubicación de la caja central de sensores	149
78.	Localización módulo GPS en máquina alzadora 2254	152
79.	Conexiones dentro del <i>enclosure</i>	155
80.	Sensor de efecto Hall en la base de la tornamesa	156
81.	Sensores de efecto Hall en la tornamesa.....	157

82.	Sensor de combustible instalado en el tanque.....	157
83.	<i>Enclosure</i> y <i>tablet</i> en sus bases dentro de la cabina	158
84.	Sensores de efecto Hall en la base de arco de la pluma	158
85.	Caja central de conexiones de sensores de efecto Hall	159
86.	Caja central de conexiones de sensores	159
87.	Capacitación del frente 5 de alce.....	161

TABLAS

I.	Partes de una alzadora SP 2254 John Deere.....	18
II.	Especificaciones de alzadora SP 2254 John Deere	19
III.	Especificaciones sensor GLTV7	40
IV.	Especificaciones sensor MPM 489	43
V.	Especificaciones presostato SUCO 0196459031009	44
VI.	Especificaciones Arduino Nano	51
VII.	Valores de la lectura del pin análogo (x) y del voltaje de la fuente (y)	74
VIII.	Valores del contador de la función ISR (x) y del tacómetro digital (y).....	78
IX.	Estructura de la trama de telemetría.....	81
X.	Ejemplo trama de telemetría.....	81
XI.	Trama de telemetría que va hacia la aplicación móvil	81
XII.	Ejemplo de la trama de telemetría que va hacia la aplicación móvil	82
XIII.	Estructura de la trama de uñadas.....	82
XIV.	Ejemplo de la trama de uñadas	83
XV.	Trama de uñadas que va hacia la aplicación móvil.....	83
XVI.	Ejemplo de la trama de uñadas que va hacia la aplicación móvil	83
XVII.	Estructura de la trama de movimientos, vista de planta.....	84
XVIII.	Ejemplo de la trama de movimientos	85
XIX.	Trama de movimientos que va hacia la aplicación móvil	85
XX.	Ejemplo de trama de movimientos que va hacia la aplicación móvil	85

XXI.	Pines del conector sensores de movimientos y alimentación	89
XXII.	Pines del conector telemetría y comunicación entre cajas.....	89
XXIII.	Pines del conector sensores de movimiento y su alimentación	96
XXIV.	Pines del conector telemetría y alimentación <i>enclosure</i>	96
XXV.	Cableado de los sensores de efecto Hall	99
XXVI.	Cable de 12 hilos hacia la alzada	114
XXVII.	Definición de los símbolos.....	124
XXVIII.	Definición de las advertencias.....	126
XXIX.	Datos técnicos.....	131
XXX.	Conexiones de la tarjeta electrónica	134
XXXI.	Componentes para armar una tarjeta de mapeo de productividad	136
XXXII.	Componentes para ensamblar un <i>enclosure</i>	138
XXXIII.	Sensores	140
XXXIV.	Materiales para la instalación en la alzada	141
XXXV.	Cableado sensores de efecto Hall	148
XXXVI.	Pines del conector de sensores de movimiento y su alimentación	150
XXXVII.	Pines conector telemetría y alimentación <i>enclosure</i>	151
XXXVIII.	Pines del conector en el <i>enclosure</i> , sensores de movimiento y su alimentación	153
XXXIX.	Pines del conector en el <i>enclosure</i> telemetría y alimentación <i>enclosure</i>	154

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
HP	Caballo de fuerza
cm	Centímetro
cm ³	Centímetros cúbicos
DC	Corriente directa
CC	Corriente continua
dBm	Decibelios-mili vatio
ε	Épsilon
Hz	Hertz
KB	Kilo Byte
KΩ	Kilo Ohm
Km	Kilómetro
Km/h	Kilómetro por hora
psi	Libra por pulgada cuadrada
l/m	Litro por minuto
m	Metro
MHz	Mega Hertz
MPa	Mega pascal
MW	Megavatio
μA	Microamperio
mA	Miliamperio
mm	Milímetro
nF	Nano Faradio

Π	Pi
%	Porcentaje
Rx	Receptor
TM	Tonelada métrica
Tx	Transmisor
Vcc	Voltaje de corriente continua
V	Voltio

GLOSARIO

Alce	Acción que realiza la máquina alzadora de levantar la caña ya organizada y colocarla en el transporte respectivo.
Algoritmo	Conjunto de instrucciones o reglas definidas y no-ambiguas, ordenadas y finitas que permiten solucionar un problema, realizar un cómputo, procesar datos y llevar a cabo otras tareas o actividades.
Apilador	Parte de la máquina alzadora que sirve para arrumar o sea acomodar la caña para ser alzada.
Atmel	Era una compañía de semiconductores, antes de ser adquirida por Microchip Technology Inc. en 2016.
Backward	Hacia atrás.
Bit	Abreviación de <i>binary digit</i> (dígito binario), la cual en términos técnicos es la menor unidad de información de una computadora. Un <i>bit</i> tiene solamente un valor (que puede ser 0 o 1).
Byte	Conjunto de 8 <i>bits</i> .

Capacitor	Dispositivo eléctrico que permite almacenar energía en forma de campo eléctrico.
Carcasa	Armazón exterior de una cosa.
<i>Change</i>	Cambio.
Chorra	Forma en que se ordena la caña que se va cortando.
Circuito	Interconexión de componentes eléctricos.
<i>Drain</i>	Pin de drenaje del MOSFET.
EEPROM	Memoria de solo lectura programable y borrrable eléctricamente.
Efecto piezorresistivo	Propiedad de algunos materiales conductores y semiconductores, cuya resistencia eléctrica cambia cuando se los somete a un esfuerzo o estrés mecánico que los deforma.
<i>Enclosure</i>	Caja de aluminio donde se encuentra la placa de circuito impreso y los conectores para los sensores exteriores.
<i>Falling</i>	Descendente.
<i>Fitting</i>	Conexiones que ayudan a unir segmentos de tuberías.

Forward	Hacia adelante.
Frente de alce	Grupo de colaboradores de un ingenio, conformado por un coordinador, supervisores y operadores de la máquina alzadora.
Gate	Pin de puerta del MOSFET.
High	Alto.
Horómetro digital	Dispositivo que registra el número de horas en que un motor o un equipo, generalmente eléctrico o mecánico ha funcionado desde la última vez que se ha inicializado el dispositivo.
IMSA	Ingenio Magdalena S. A.
Incerteza	Error absoluto de la medición.
Interfaz de desarrollo	Aplicación informática que proporciona servicios integrales para facilitarle al desarrollador o programador el desarrollo de <i>software</i> .
Jaula de Faraday	Caja metálica protectora de los campos eléctricos estáticos, en su interior el campo eléctrico es nulo.
Jaula	Equipo de arrastre acoplado al cabezal para el transporte de la caña.

Levante	Movimiento realizado por el cilindro de levante de la máquina alzadora para elevar o bajar la pluma.
Low	Bajo.
Magnitud física	Propiedades o atributos medibles del mundo que nos rodea.
Microsoft Teams	Plataforma unificada de comunicación y colaboración que combina chat persistente en el lugar de trabajo, reuniones de video, almacenamiento de archivos.
Pante	Área sembrada con caña delimitada por caminos internos (rondas) es una porción del lote.
PCB	Placa de circuito impreso.
Permitividad	Capacidad que tienen los materiales, medios o sustancias de afectar y ser afectados por los campos eléctricos.
Proteus	<i>Software</i> comercial de captura de esquemas, simulación y auto ruteado, capaz de simular en tiempo real circuitos electrónicos.
Pseudocódigo	Forma de escribir los pasos que va a realizar un programa de la forma más cercana al lenguaje de programación que se va a utilizar posteriormente.

PWM	Modulación por ancho de pulso.
Qtiplot	Programa informático, multiplataforma para gráficos interactivos y análisis de datos.
<i>Reset</i>	Reiniciar.
Resistencia <i>pull down</i>	Establece un estado bajo o “0” lógico cuando el pin se encuentra en reposo.
Resistencia <i>pull up</i>	Establece un estado alto o “1” lógico cuando el pin se encuentra en reposo.
<i>Rising</i>	Creciente.
Semiconductor	Elemento que se comporta o bien como un conductor o bien como un aislante dependiendo de diversos factores.
SIG	Sistemas de información geográfica.
Sistema Murphy	Instrumento indicador tipo interruptor para medir presión, al pasar cierta presión, deja pasar la corriente.
<i>Source</i>	Pin de fuente del MOSFET.
Surco	Hilera de caña.

Tajo	Fracción de luchada, asignada para que la corte un cortador.
Tarjeta de desarrollo	Placa o circuito que contiene un microcontrolador principal que corre o ejecuta una serie de instrucciones de un programa suministrado.
Telemetría	Tecnología que permite la medición remota de magnitudes físicas y el posterior envío de la información hacia el operador del sistema.
Trama	Unidad de envío de datos. Es una serie sucesiva de <i>bit</i> , organizados en forma cíclica, que transportan información y que permiten en la recepción extraer esta información.
Unknow	Desconocido.
Uñada	Caña que se prensa con la garra de la máquina alzadora y se deposita en la jaula, para trasladar la caña al ingenio.
Zafra	Temporada durante la cual se cosecha la caña para la producción de azúcar, energía, melaza y alcohol (de noviembre a mayo).

RESUMEN

El Ejercicio Profesional Supervisado de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Escuela de Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala se llevó a cabo en el Departamento de Agricultura de Precisión del Ingenio Magdalena S. A. concretamente se basó en la implementación de una tecnología de adquisición de datos para la toma de decisiones.

Esta tecnología está orientada en la recolección de la cantidad de uñadas que realiza la máquina alzadora SP 2254 John Deere, en la labor de alce, así como de la ubicación geográfica en la que se efectúa el alce de la caña de azúcar; con el objetivo que estos datos sean útiles para elaborar mapas de productividad de la caña de azúcar, en un futuro próximo. También, estos mapas sean utilizados en el estudio de las áreas de cultivos, que presenten baja producción de caña de azúcar a efecto que estos datos e información contribuyan a la mejora del rendimiento del sistema productivo de la caña de azúcar, por ende, se obtengan resultados favorables en la producción industrial del azúcar que se produce en el Ingenio Magdalena S. A.

Dentro de la metodología del desarrollo del EPS, se procedió a observar los movimientos que realiza la máquina alzadora SP 2254 John Deere, al ser puesta en funcionamiento por el operador respectivo, para completar una uñada, a efecto de determinar el lugar pertinente para la instalación de los sensores que detecten estos movimientos en consecuencia, se formuló el algoritmo para la detección de una uñada.

El equipo técnico-profesional de Automatización Agrícola (del Departamento de Agricultura de Precisión) trabajó de forma paralela al desarrollo Ejercicio Profesional Supervisado, en el proyecto de un horómetro digital para la máquina alzadora SP 2254 John Deere, el cual cuenta con GPS y comunicación *bluetooth* para transferir los datos a una aplicación móvil, diseñada por el área de Tecnología de la Información, la aplicación se encarga de enviar los datos a los servidores del Ingenio y dar visualización de los datos a través de una *tablet*. El dato de cuando se realiza una uñada es enviado a este equipo y este al recibir el dato le añade la lectura de la ubicación que le da el GPS en ese instante, y lo transfiere a la aplicación móvil.

También se realizó la lectura de las variables del nivel de combustible, carga de la batería y las revoluciones por minuto del motor de la máquina alzadora SP 2254 John Deere, estos datos también son enviados al equipo del horómetro digital para que los transfiera a la aplicación móvil. Logrando tener datos de la máquina alzadora SP 2254 John Deere que permiten al Ingenio Magdalena S. A. completar una telemetría de ella.

OBJETIVOS

General

Desarrollar un prototipo de un sistema transductor para el alce de la caña de azúcar en la cosecha manual en el Ingenio Magdalena S. A.

Específicos

1. Diseñar un algoritmo de recolección de datos de alce de la caña de azúcar, en la máquina alzadora modelo 2254 del Ingenio Magdalena S. A.
2. Proveer datos de diésel, rpm y carga de la batería, de la alzadora modelo 2254 del Ingenio Magdalena S. A.
3. Fortalecer la gestión de los recursos hídricos y nutricionales para un mejor aprovechamiento de estos con base en la información obtenida de los datos de uñadas.
4. Capacitar a operadores para el óptimo manejo de la máquina alzadora, con el objetivo de reducir la probabilidad de error en el uso de sensores.

INTRODUCCIÓN

El Ingenio Magdalena S. A., actualmente produce, desarrolla y comercializa productos alimenticios, agrícolas y energéticos derivados del proceso industrial de la caña de azúcar, cultivada en áreas de tierra tanto de su propiedad como arrendadas.

Se caracteriza por ser uno de los mayores ingenios a nivel de Latinoamérica.

Dentro de su estructura organizativa se encuentra el Departamento de Agricultura de Precisión (que pertenece al Área de Inteligencia Agrícola), el cual tiene a su cargo desarrollar tecnologías de adquisición de datos para la toma de decisiones, basadas en dichos datos y en el marco de la visión y misión, las que se citan seguidamente:

Visión: “Al 2026 seremos una empresa líder en costos y productividad, diversificando nuestros productos en distintos mercados” (Ingenio Magdalena, 2022, <https://www.imsa.com.gt/estrategia/>).

Misión: “Desarrollar y comercializar, de forma sostenible, productos agrícolas, alimenticios y energéticos, mejorando la calidad de vida de las personas” (Ingenio Magdalena, 2022, <https://www.imsa.com.gt/estrategia/>).

El Departamento de Agricultura de Precisión, uno de los proyectos que tiene a cargo desarrollar es el de mapeo de productividad, telemetría y horómetro digital, el cual va dirigido a las máquinas alzadoras o cargadoras de caña azúcar.

Uno de los objetivos de este proyecto es el de aprovechar al máximo la producción en las áreas de tierras cultivadas.

Para lograr la optimización de las tierras cultivadas con caña de azúcar es conveniente detectar la capacidad de los recursos nutricionales e hídricos, así como la cantidad de producción de cada parte de tierra. Para el efecto, se implementó un sistema transductor a la máquina alzadora 2254 John Deere, el cual detectará los movimientos que realice, proporcionando información legible y oportuna a un sistema electrónico, que permitirá conocer la capacidad de cosecha de cada parte de tierra cultivada.

Este proyecto fue dirigido y coordinado por el equipo técnico-profesional de Automatización Agrícola, del Departamento de Agricultura de Precisión del Ingenio Magdalena S. A.; quien se encargó de la etapa de desarrollo del equipo electrónico que adquiere los datos, de la instalación del equipo en la máquina alzadora y del soporte técnico. Para la etapa del procesamiento de los datos el Ingenio Magdalena S. A. cuenta con el Área de Tecnología de la Información, quien proporcionó el apoyo para el desarrollo de la aplicación móvil. Esta aplicación fue instalada en una *tablet*, para que el operador de la máquina alzadora visualizara los datos, y a la vez de forma simultánea estos lleguen a los servidores del Ingenio, adicional permite elaborar *dashboards* con información pertinente para el respectivo análisis o toma de decisiones de cada área del Ingenio, por ejemplo, mapeo de productividad del suelo. Con estos datos, el personal técnico del Área de Inteligencia Agrícola proporcionará información pertinente de soporte para el estudio a las áreas de Riego y Nutrición del Ingenio Magdalena S. A., las mismas contarán con datos precisos y específicos del rendimiento del suelo en cada parte como en áreas con baja, mediana y alta producción, por consiguiente, se logrará optimizar los recursos y alcanzar la rentabilidad esperada de la actividad productiva.

El equipo profesional o técnico de Automatización Agrícola, participó en el diseño del equipo electrónico del horómetro digital, el cual hace el recuento del tiempo que está en uso la máquina alzadora, de un GPS para dar la ubicación de la máquina alzadora y de conexión *bluetooth* para el envío de estos datos a la *tablet* que tiene instalada la aplicación móvil.

Mientras que el diseño e instalación del transductor para el alce de la caña de azúcar en la cosecha manual, y los datos para la telemetría de la máquina alzadora SP 2254 John Deere (que es la que se puntualiza en este informe).

El diseño del equipo electrónico del transductor para el alce de la caña de azúcar en la cosecha manual, y los datos para la telemetría de la máquina alzadora se detalla en este informe, el cual se efectúa las lecturas de los sensores que detectan los movimientos de la pluma de la máquina alzadora SP 2254 John Deere como del sensor de combustible, de la señal de las revoluciones por minuto y del nivel de carga de la batería.

El presente informe está integrado por tres fases: de investigación, de servicio técnico profesional y la de enseñanza-aprendizaje

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la empresa

El Ingenio Magdalena S. A. es de capital privado, esencialmente se caracteriza por desarrollar y comercializar productos alimenticios, agrícolas y energéticos derivados del procesamiento de la caña de azúcar, como llevar a cabo acciones de innovación de forma constante, basadas en el análisis e investigación para adaptar sus productos y servicios a las necesidades y exigencias del mercado nacional e internacional.

En la actualidad, se ha posicionado como el mayor productor centroamericano de azúcar y el segundo en América Latina, además cuenta con la refinería más grande del mundo anexa a un ingenio, es el tercer generador de energía eléctrica del país y un importante productor de alcohol a nivel internacional.

El posicionamiento del Ingenio Magdalena S. A. al interior del mercado global ha incidido que sus estándares de producción sean cada vez de mejor calidad, acorde a nuevas demandas, por ejemplo: relacionados a temas de bioterrorismo, de sostenibilidad, sociales, ambientales, entre otros.

1.1.1. Ubicación

El Ingenio Magdalena S. A. desarrolla sus operaciones de producción en el Interior de la finca Buganvilla, la cual se encuentra ubicada en el km 99.5 de la

carretera que conduce de la ciudad capital de Guatemala al municipio de La Democracia, departamento de Escuintla.

1.1.2. Historia

En 1983 fue adquirido el Ingenio Magdalena S. A. por una familia de empresarios guatemaltecos, el cual funcionaba en la finca de nombre Magdalena, localizada en la aldea El Rodeo del municipio de Escuintla, posteriormente fue trasladado a la finca Buganvilia, en donde se ubica actualmente.

Previo a su adquisición, este se dedicaba a la producción de mieles para la fabricación de licor y como ingenio azucarero, con capacidad de molienda hasta de 2,000 toneladas cortas diariamente.

Los nuevos propietarios del Ingenio Magdalena S. A., desde su adquisición, propiciaron de forma continua el crecimiento de la producción, expanden, amplían y modernizan la infraestructura, así como implementar tecnología de punta, que les sitúa en contar con una alta capacidad instalada.

Para comprender el crecimiento y evolución productivo, a continuación, se presenta de forma sintética el siguiente análisis comparativo y cronológico.

Para el periodo de zafra de los años 1983 y 1984, el Ingenio Magdalena S. A. alcanzó la producción de 18,200 TM de azúcar.

Para finales de la década de los años de 1980, la capacidad de molienda diaria llegó a ser de 5,500 TM. (previo a la adquisición por los actuales propietarios, la producción de molienda diaria era de 2,200 TM).

Es importante resaltar la innovación tecnológica que implementó en el sistema de corte y alce de la caña de azúcar.

Para el efecto de abastecerse de caña de azúcar, además de ampliar el área de la plantación de cultivo (para ese periodo, contaban con 3,000 hectáreas de tierra) compraron a productores particulares de la zona.

Durante la década de los años de 1990, el crecimiento de la producción del Ingenio Magdalena S. A. sigue en auge. Para el periodo de zafra de 1990-1991, la producción fue de 53,792 TM de azúcar. La plantación de tierra para el cultivo de la caña de azúcar era de 5,550 hectáreas.

La constante implementación e instalación de equipo técnico y maquinaria moderna logró una capacidad de molienda diaria de 20,000 TM.

Sin embargo, para el periodo de zafra de 1994-1996 fue duplicada la producción del periodo de 1990-1991, con una producción de 105,855 TM de azúcar.

Entre otros avances, durante esa década (1990) fue innovado el sistema de corte y alce de la caña. Amplió sus plantaciones de cultivo y productividad, construyeron tres de los módulos habitacionales para los cortadores de caña. Se creó el laboratorio de meristemas para la producción de semilla de caña de azúcar e inició su participación en el mercado eléctrico, con una cogeneración con bagazo y 53 MW de capacidad instalada, invirtiendo en un programa más amplio de cogeneración. Condiciones que le situaron al Ingenio Magdalena S. A. en liderar un crecimiento en la producción de azúcar en el país.

El crecimiento e instalación de equipo y maquinaria industrial continuó durante la década de los años 2000, instalando un tercer tándem de molinos con capacidad de 9,200 TM diarias. Lo cual incidió que el Ingenio Magdalena S. A. con el componente de tecnología de vanguardia hizo más eficiente su molienda, además se posicionó en ser el primer ingenio de la región en contar con 3 tándems de molinos en el mismo centro de producción.

Otro avance de suma importancia es haber incrementado la capacidad de corte y alce de la caña. Adquieren 100 camiones para el transporte y acarreo de la caña y 4 cosechadoras mecánicas.

Un logro de mucho éxito para el ingenio, durante esa década fue instaurar el programa de producción de entomopatógenos utilizados para el control biológico de plagas específicas, que afectan la caña de azúcar, con una capacidad de producción de 45,000 dosis por temporada de marzo a octubre.

Adicional, fundaron la entidad de Servicios Manufactureros para la producción de alcohol, con una capacidad de producir 120,000 litros diarios.

En el año 2007, el desarrollo productivo a nivel empresarial continuó en auge, al establecer una nueva destilería con capacidad de producir 300,000 litros de alcohol etílico hidratado.

De 2010 a la fecha, la expansión del Ingenio Magdalena S. A. es vertiginoso, por ejemplo, fueron inauguradas y puestas en funcionamiento 3 plantas para generar energía eléctrica, por medio de la utilización del bagazo de la caña de azúcar, cuya capacidad es; una de 62.4 MW y las otras dos de 61.5 MW.

Otros de los logros de éxito fue la ampliación de una refinería de azúcar, haber construido un domo con capacidad de almacenaje de 75 mil TM de azúcar refino, el más grande de la región.

Actualmente, las destilerías del Ingenio Magdalena S. A. tienen capacidad de producir diariamente. Combinada de 420,000 litros de almacenamiento en plantas 26.95 millones de litros y en terminales de embarque 34 millones de litros.

La producción de caña de azúcar es de 61.742,446.16 toneladas y la capacidad de molienda es de 40,000 TM diaria.

Cuentan con 53,000 hectáreas de terreno para la plantación de caña de azúcar, de las cuales arrendan una parte y han adquirido en calidad de propiedad otra parte.

El 80 % de la caña de azúcar es producida por el Ingenio Magdalena S. A. y el porcentaje restante la adquiere de otros productores circunvecinos.

A la fecha, el Ingenio Magdalena S. A. es uno de los más grandes exportadores de azúcar refinado en Latinoamérica. Sus exportaciones alcanzan aproximadamente más de 500.000 toneladas, el equivalente al 60 % de las exportaciones totales de azúcar refinado desde Guatemala.

Asimismo, la planta o nómina de colaboradores como fuerza laboral-recurso humano ha ido en aumento, para el año 2020 fue de 5,061 colaboradores permanentes y 12,107 temporales, el personal temporal es el contratado durante la temporada de zafra (de noviembre a mayo de cada periodo de zafra), en total asciende a 17,168.

Desde hace ocho años, aproximadamente el Ingenio Magdalena S. A. es el más grande, posicionado en el primer lugar de los 12 ingenios que operan en Guatemala.

1.1.3. Misión

“Desarrollar y comercializar de forma sostenible, productos agrícolas, alimenticios y energéticos, mejorando la calidad de vida de las personas” (Ingenio Magdalena, S. A. 2022, <https://www.imsa.com.gt/estrategia/>).

1.1.4. Visión

“Al 2026 seremos una empresa líder en costos y productividad, diversificando nuestros productos en distintos mercados” (Ingenio Magdalena, 2022, <https://www.imsa.com.gt/estrategia/>).

1.1.5. Valores

Honestidad, Humildad y Pasión por los logros. “Sembramos honestidad, humildad y pasión por los logros para cosechar mejores personas” (Ingenio Magdalena, 2022, <https://www.imsa.com.gt/estrategia/>).

1.1.6. Razón de ser

Dios, familia, trabajo y sociedad. (Ingenio Magdalena, 2022, <https://www.imsa.com.gt/estrategia/>).

1.1.7. Organigrama

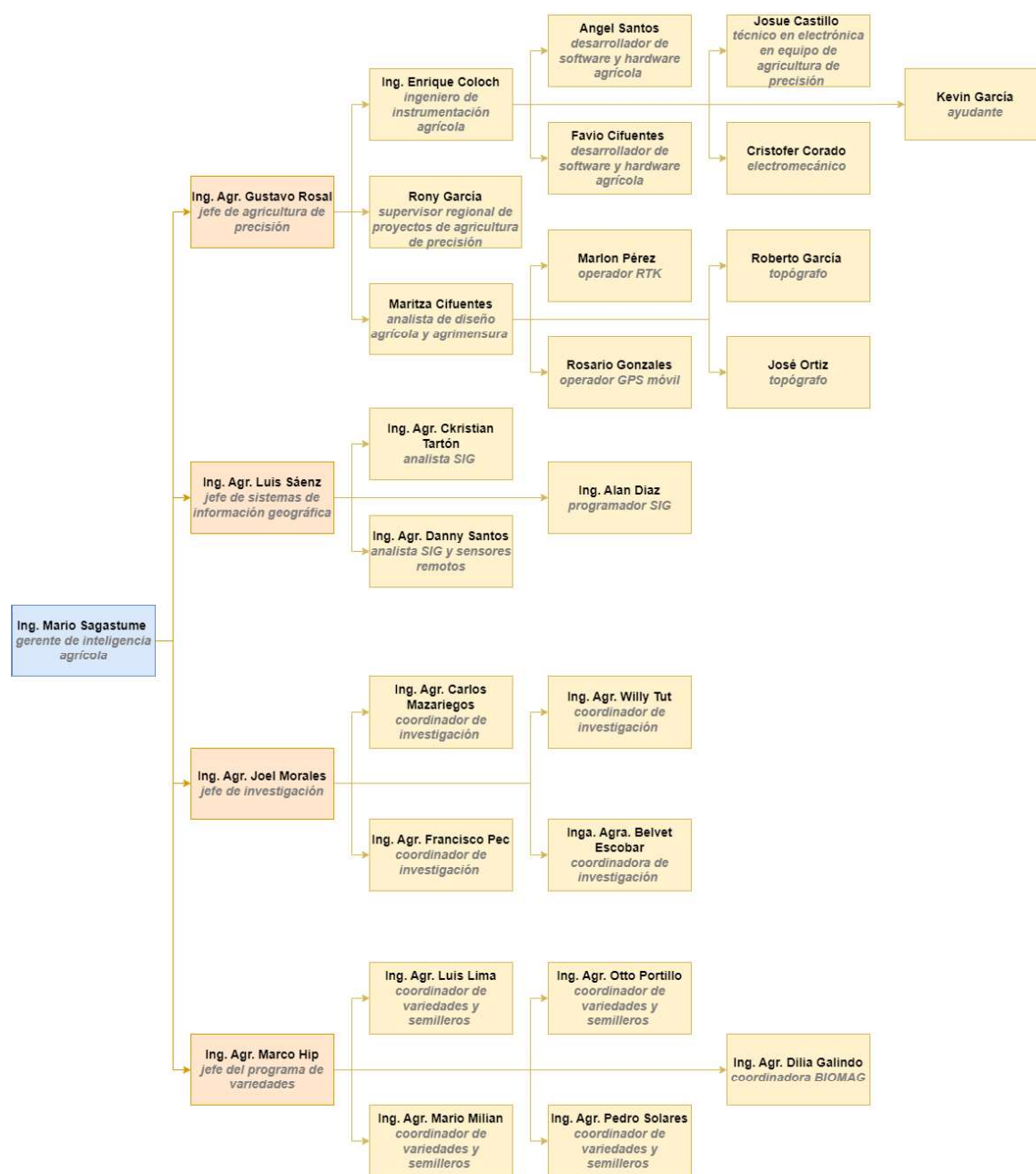
Un organigrama es la representación visual, bien sea en gráfica o esquemática, de cómo está organizada toda entidad administrativa, política o empresa productiva, comercial e industrial; tanto en lo administrativo u operativo a efecto de demostrar la jerarquía de los cargos, las líneas de autoridad o mandos directivos, altos medios sus líneas de comunicación, según sea el funcionamiento de las dependencias, áreas u órganos que la integran, así como la posición que corresponda de forma estructural.

En el caso particular del Ingenio magdalena S. A., por su naturaleza estructural que es bastante amplia, como se ha observado, que además de producir y comercializar azúcar, genera energía eléctrica, alcoholes, cuenta dentro de su organización administrativa con programas de proyección social, de salud, de investigación, fabrica, laboratorio, entre otros.

Razón por la que en este rubro se representará la estructura organizativa de forma específica del Área de Inteligencia Agrícola, que depende de la Gerencia de Transformación. Del Área de Inteligencia Agrícola dependen los departamentos de Agricultura de Precisión, de Investigación, de SIG, de Semillero.

Por la naturaleza del estudio realizado durante el Ejercicio Profesional Supervisado y por el interés de este informe, se enfocará de forma particular la función del Departamento de Agricultura de Precisión, así como del grado de importancia que este tiene dentro del proceso de la producción del azúcar en el Ingenio Magdalena S. A. Se presenta a continuación un esquema de su estructura organizacional y la posición de las líneas de autoridad, como las relaciones, de comunicación en un organigrama funcional.

Figura 1. Organigrama



Fuente: elaboración propia, realizado con software Diagrams.net.

1.2. Descripción del problema

Guatemala es el país líder en el mercado azucarero en el ámbito centroamericano. La industria del azúcar se produce por medio de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum L*), la cual se constituye en la materia prima.

El azúcar que se encierra en los tallos de la caña es la sacarosa, es uno de los resultados de la fotosíntesis (transformación de la energía luminosa en energía química). La caña acumula esta azúcar en los tallos como reserva energética.

Sin embargo, para lograr obtener el producto final que es el azúcar refinado, tanto para consumo nacional como internacional, se requiere de un proceso minucioso, largo y delicado, desde que la semilla de caña germina hasta que el azúcar se comercializa en el mercado local o internacional.

El Ingenio Magdalena S. A. para la siembra, cultivo y cosecha de la caña de azúcar utiliza 53,000 hectáreas de extensión de tierra, lo que incide en una producción a gran escala, aporta más del 24 % de la caña molida y de la producción del país.

En el proceso de elaboración de azúcar existen varias operaciones, de los primeros procesos, posterior a la siembra y cultivo de la caña es la cosecha, (temporada de zafra, recolección de la caña), la cual se lleva a cabo en alto porcentaje por medio del corte manual, como un medio de generar fuentes de empleo.

Luego del corte, la caña es depositada en vehículos específicos para ser transportada a la fábrica respectiva. La caña es depositada en cada vehículo por medio de una máquina alzadora.

La utilización de las máquinas alzadoras forman parte de la tecnificación de los procesos en la producción del azúcar. Los movimientos que efectúa la máquina alzadora para el alce de la caña son controlados por un operador desde la cabina de cada máquina.

Durante la época de cosecha o temporada de zafra, se recolectan datos de la cantidad de toneladas que se producen de caña de azúcar en las fincas del Ingenio Magdalena, S. A. por medio de la cantidad de uñadas que se realicen con la máquina alzadora (dato tomado por un colaborador del Ingenio Magdalena, S. A., nombrado apuntador); sin embargo, este dato es general para determinar el rendimiento del suelo. Lo cual deriva que el trato que se le proporciona a las áreas de suelo a ser cultivadas, respecto a las tasas de aplicación de fertilizante es uniforme, las cuales son calculadas con base en valores medios de la fertilidad del suelo.

Esta aplicación uniforme puede presentar una incidencia desfavorable en la producción final para el Ingenio o el riesgo de causar daños importantes al ambiente. Otro factor que se observó es que, en la actualidad, no se han logrado determinar con precisión la obtención de datos de la cantidad de uñadas realizadas en cada chorra cortada como del punto geográfico que se llevó a cabo cada uñada.

El buen funcionamiento y tener en óptimas condiciones el estado de las máquinas alzadoras, el taller encargado de proporcionar el mantenimiento respectivo al interior del Ingenio Magdalena S. A. es Magrisa.

En la actualidad, se carece de un medio automatizado para recopilar información que permita monitorear el nivel de carga de la batería, como el consumo de combustible y medir las revoluciones por minuto del motor de la maquina alzadora.

La forma actual que tienen como medio de control es, por ejemplo: si llegase a fallar la batería o que la alzadora presenta sobre revoluciones en el motor, el operador de la alzadora debe avisar al supervisor, quien debe alertar al encargado del frente del alce, quien reporta al taller para la debida asistencia y con relación al proceso de abastecimiento de combustible a la máquina alzadora, se lleva a cabo con base en un promedio de consumo del tanque de combustible.

Magrisa, en la necesidad de mejorar y tecnificar los procesos del rendimiento de las maquinas alzadoras, se auxilia del Departamento de Agricultura y Precisión para la obtención de datos y herramientas automatizadas.

1.3. Cosecha manual de la caña de azúcar

El sistema de cosecha de caña de azúcar en Guatemala se transformó a partir de 1981, al haberse introducido el sistema de corte de caña con machete australiano.

Uno de los procesos fundamentales en la agroindustria del azúcar es la cosecha de la caña de azúcar. Su importancia radica en recolectar la materia prima disponible en las áreas cultivadas; basados en un plan de productividad, el cual tiene como objetivo garantizar el suministro de caña de azúcar a la fábrica oportunamente, en el menor tiempo entre corte y molienda. Que la caña en su mayoría no presente contenido de materias extrañas (hojas, punta y tierra).

La cosecha manual la realizan personas (denominadas corteros) que emplean un machete o rulas, cortan los tallos (generalmente después de quemada la planta para hacer más eficiente la labor), luego las organizan en chorras y posteriormente sea transportada.

La incidencia del corte manual de la caña de azúcar en el Ingenio Magdalena S. A., entre otros aspectos, es la generación de alta tasa de fuente de empleo y para llevar a cabo el proceso de la cosecha y cuentan con la Gerencia o Departamento de Corte, Alce y Transportes (CAT).

Los pasos básicos de la cosecha manual son el corte del tallo, la separación del cogollo, la limpieza y el trozado del tallo, la formación del bulto en la superficie del suelo y la carga de este en el medio de transporte.

Para suministrar la caña de azúcar con la mayor calidad, se deben de considerar varios factores, como la variedad, el grado de maduración, el sistema de cosecha utilizado, la época de corte, el contenido de materia extraña presente y el tiempo transcurrido entre el corte y la molienda de la caña en la fábrica.

1.3.1. Quema

Regularmente, esta es la primera etapa de la cosecha, se realiza para eliminar las hojas secas y parte del cogollo, como eliminar posibles impurezas y reducir el contenido de materia extraña en la caña que es trasladada al ingenio.

Además, facilita la labor del cortador y aumenta el rendimiento productivo, mejorando el aprovechamiento de los equipos de alce y transporte.

Para llevar a cabo esta etapa de quema es necesario considerar el comportamiento del viento durante todo el día para elegir la hora más oportuna, sin causar daño a las plantaciones cercanas que aún no estén en tiempo de corte y a las poblaciones vecinas; además utilizan los datos del comportamiento del viento, que suministran las estaciones meteorológicas, a efecto de planificar las quemas, otra acción que llevan a cabo es organizar al personal que hará la labor de rodear el área a quemar, realizan brechas corta fuego en las calles que rodean las áreas a quemar.

La caña de azúcar ya quemada y cortada tiene 24 horas como lapso determinado de tiempo para ser transportada a la fábrica, contrario a ese lapso y después de las 36 horas de haber sido cortada se comienza a degradar su calidad, cuya incidencia puede alcanzar pérdidas considerables de azúcar.

1.3.2. Corte

Esta etapa consta de las siguientes operaciones:

- Localizar y despejar el tajo: el cortador al tener asignado el tajo, que es un fragmento del lote cultivado, procede a cortar la caña de azúcar y retirar las posibles materias extrañas, con la intención de tener una mayor libertad en el manejo del machete durante la operación de corte.
- Cortar tallos: esta se hace a ras del suelo, para evitar ataques o pudriciones de la cepa y mejorar el crecimiento del siguiente cultivo.
- Enchorrar: acomodar la caña cortada, a medida que se va avanzando en el corte, entre los surcos que le sean indicados al cortador.
- Marcar el tajo: a cada tajo y cortador previamente se les ha asignado un código numérico, con el fin de marcar el inicio y final del tajo cortado por el cortador, este código se escribe sobre dos cañas labradas.

1.3.3. Alce

Esta etapa sigue después del corte, actualmente el alce es realizado de forma mecánica.

Consiste en levantar la caña del piso formada en chorras y depositarla en las jaulas o vagones de los camiones, para su transporte del campo al patio de la fábrica del Ingenio Magdalena, S. A. Las jaulas son llenadas con la ayuda de la máquina alzadora, las cuales alzan la caña acomodada en chorras que han dejado los cortadores.

Los movimientos realizados por la máquina alzadora, al alzar la caña son controlados por un operador desde la cabina de la alzadora.

Los factores que inciden para lograr una mejor eficiencia del alce, están el operador de la máquina alzadora, de la topografía del terreno, la disponibilidad de vehículos para el transporte, surcos con un largo óptimo, entre otros.

1.3.4. Transporte

La caña de azúcar, luego de ser depositada en cada jaula o vagón es transportada del campo al patio del Ingenio Magdalena S. A. por medio de vehículos tipo camión.

Cada camión tiene capacidad para jalar de dos a tres jaulas, las cuales van enganchadas entre sí y al cabezal de cada vehículo, están elaboradas de tubos y plataforma de metal, con capacidad de transportar de 55 a 70 toneladas de caña de azúcar por viaje y abarcan en total de 40 a 50 metros de largo.

El factor más importante por considerar al momento de transportar la caña es el tiempo de traslado desde el campo hasta el ingenio, factor que es denominado frescura de la caña.

1.3.5. Pesaje

En esta etapa la caña de azúcar es pesada en básculas anexas a la fábrica. Estas básculas son electrónicas para camión, con las que se garantiza agilizar el proceso de pesaje y el ingreso oportuno de la caña de azúcar, dado la magnitud de la producción del Ingenio Magdalena S. A., estas básculas tienen capacidad de 200 toneladas y 40 metros de longitud.

Los datos obtenidos en la etapa de transporte son entregados al encargado de la báscula para que determine el peso exacto transportado. Con ese proceso se obtiene la diferencia de datos entre lo alzado y lo recibido, derivado que durante el recorrido del transporte puedan adherirse, materiales u otros elementos, así como la posibilidad de caerse parte de la carga de la caña de azúcar, lo que incide en la diferencia del peso exacto de la carga.

1.3.6. Descargue

Es la última etapa del proceso de la cosecha de caña de azúcar, consiste en descargar del vehículo que la transporta en las mesas alimentadoras por medio de grúas cañeras.

En estas mesas se lleva a cabo la acción de limpieza en seco de la caña de azúcar, con el fin de eliminar partículas de arena, tierra u otros cuerpos extraños, posteriormente se traslada a la fábrica para continuar con el proceso de extracción del azúcar.

1.4. Maquinaria que se utiliza en el alce de la caña de azúcar

La máquina que se utiliza para el alce de la caña de azúcar es una alzadora o cargadora de caña de azúcar.

Son máquinas que contribuyen a la eficiencia y agilización del proceso de la cosecha, recolección y levante de la caña de azúcar, por ser bastante versátiles, ocupan espacios muy reducidos a la hora de operar. lo que hace bastante rentable el alce.

La máquina alzadora o cargadora de caña de azúcar realiza los movimientos siguientes: de levante, extensión, sujeción, giro y desplazamiento; se aplica el uso de principios hidráulicos.

Actualmente existen diferentes tipos de máquinas alzadoras o cargadoras de caña de azúcar en el mercado, algunos ejemplos son las siguientes, según modelo y marca:

- John Deere modelo 2254
- John Deere modelo 1850
- Game modelo 4700LX
- Matriach modelo ULTECO5

1.4.1. Alzadora de caña de azúcar SP 2254 John Deere

Se caracteriza por ser una alzadora o cargadora de caña de azúcar con un potente motor de 200 hp. Uno de sus mayores atractivos es su estabilidad, permitiendo un mayor alcance y mayor capacidad de agarre. La rotación del

brazo con un giro de 180 grados completos para cargar desde cualquier lado, lo cual le permite ser más productivo.

La cabina de la alzadora SP 2254 es cómoda y ergonómica para el operador, su diseño modular facilita el acceso para realizar algún mantenimiento o servicio. Cuenta con aire acondicionado y un volante de dirección que controla el sistema de dirección asistida articulada trasera, logrando hacer que operarla sea cómoda.

Para los movimientos de la pluma cuenta con dos palancas de mando que accionan los cilindros de doble efecto. Estos cilindros son los que realizan las diferentes funciones de los movimientos de la pluma.

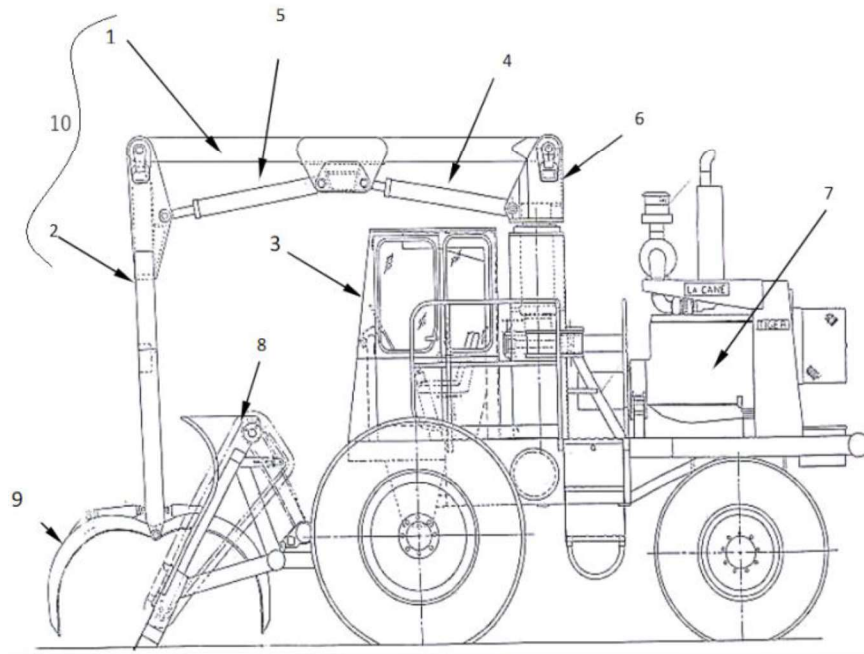
Una palanca de mando se utiliza para cerrar o abrir la garra y levantar o bajar la pluma, la otra palanca de mando sirve para extender la pluma, este varía el ángulo entre los tubulares superior y frontal y girar la pluma a la derecha como a la izquierda.

El Ingenio Magdalena, S. A. cuenta con máquinas alzadoras del modelo 2254 y del modelo 1850, marca John Deere, entre su maquinaria moderna.

Además, para proporcionar el servicio y mantenimiento a las máquinas alzadoras, cuenta con el taller Central de Magrisa.

Dado la versatilidad de las alzadoras del modelo 2254 John Deere, muchas reparaciones, mantenimiento o servicio, el taller lo realiza rápidamente en el campo, lo cual contribuye a que no se pierda tiempo en la producción por inactividad de alguna máquina alzadora.

Figura 2. **Partes de una alzadora SP 2254 John Deere**



Fuente: Hurtado, O. (2016) *Diseño de un sistema de medición para estimar el peso de la caña en el proceso de alce*. Consultado el 4 de mayo de 2021. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/84108747.pdf>.

Tabla I. **Partes de una alzadora SP 2254 John Deere**

No.	Descripción	núm.	Descripción
1	Tubular superior-brazo superior	6	Tornamesa
2	Tubular frontal-brazo frontal	7	Motor diésel
3	Cabina	8	Apilador
4	Cilindro de levante	9	Garra
5	Cilindro de extensión	10	Pluma

Fuente: elaboración propia.

1.4.1.1. Características

- Doble tracción.
- Giro de la pluma de 180°.
- Despeje máximo de la garra de 6 m. y 4.18 m de alcance desde el centro de la alzada.
- La capacidad de la garra es de 50 % más que una alzada convencional
- El equipo de transporte (jaula conducida por un tractor) se conduce a la par de la alzada, dejando un surco de por medio entre la alzada, con el fin de impedir que se contamine la caña apilada, por salpicaduras de lodo y tierra.
- Ancho entre las ruedas de 3 m.

1.4.1.2. Especificaciones

Las características y especificaciones mostradas en la tabla II corresponden a una configuración básica del equipo.

Tabla II. **Especificaciones de alzada SP 2254 John Deere**

Motor	
Diésel con arranque eléctrico directo	John Deere 6068T de 200 hp
Sistema de propulsión	
Bombas y motores hidrostáticos con una válvula selectora para tracción en ruedas con velocidad variable	
Operación	12 km/h máx. en tres rangos
Traslado	29 km/h máx.
Sistema del apilador	
Bomba simple	87 l/min @ 2200 rpm

Continuación de la tabla II.

Presión máxima	1750 psi
Sistema de cargado	
Dos válvulas direccionales, una de tres bancos para giro, extensión, apilador y otra independiente, de dos bancos para las funciones de levante y tenaza	
Bomba doble	(132 y 87 l/min) @ 2200 rpm
Presión máxima	2250 psi
Dirección	
Hidráulica en el tren trasero	
Llantas	
La opción de 4 vías de tracción en las 4 ruedas utiliza llantas 30.5 L R2 y 23.1x26 R2	
Delanteras	23.1x34, R1-8 lonas
Traseras	18.4x26, R1-8 lonas
Equipamiento común	
Incluye cabina climatizada, apilador tipo pelota de fútbol, luces, bocina, controles multifuncionales, alarmas e indicadores de alta temperatura del agua y baja presión de aceite	
Equipamiento opcional	
Vía ancha de (3m) para una buena estabilidad	
Techo de seguridad, juego de cerrado paralelo de la tenaza y ampliador convencional con cadenas	
Tracción constante en las 4 ruedas (esta opción utiliza diferentes tamaños de llantas)	
Limpiador mecánico de cadenas del apilador	

Fuente: elaboración propia.

1.5. Algoritmo para la detección del alce de la caña de azúcar con alzadora de caña SP 2254 John Deere

Los operadores de la máquina alzadora de caña de azúcar SP 2254 realizan ciertos movimientos para completar una uñada, los cuales involucran a varias partes de la alzadora.

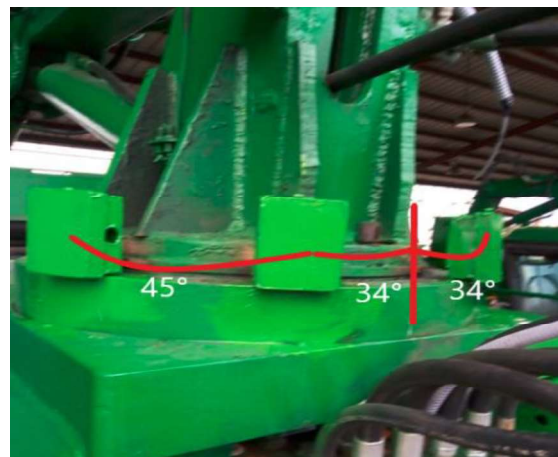
Se logró establecer por medio de los operadores y mecánicos de la máquina alzadora de caña de azúcar SP 2254, que, para completar una uñada llevan a cabo los siguientes movimientos: la caña de azúcar es apilada por el apilador de la cargadora o alzadora 2254, una vez apilada la caña, bajan la pluma para sujetar la caña con la garra, levantan la pluma con la caña sujeta, por la garra, mueven la pluma hacia donde este colocada la jaula (esta acción es por el giro de 180° del brazo o pluma, la jaula puede estar colocada en cualquiera de los laterales de la alzadora) tanto a la derecha como izquierda, abren la garra para depositar la caña en el interior de la jaula y, por último, devuelven la pluma hacia el centro para repetir el proceso.

Tomando en cuenta el proceso para realizar una uñada, se consideró desde que la pluma esté posicionada abajo para sujetar la caña hasta que gira para posicionarse encima de la jaula y soltar la caña en ella. La lectura se realizó, tanto con la pluma posicionada abajo, como levantada, girando a la derecha o a la izquierda para posicionarse encima de la jaula y depositar la caña en la jaula.

El giro que realiza la tornamesa para mover la pluma, se efectuó dos lecturas en ambas laterales (derecha e izquierda), a las que se les clasificó de derecha 1, derecha 2, izquierda 1, izquierda 2; con la finalidad de obtener mayor número de datos, los que pueden ser útiles para el Ingenio Magdalena, S. A., en un futuro próximo; dejando un aproximado de 45 grados de distancia entre ellas.

La lectura 1 tiene un aproximado de 34 grados del centro (con la pluma posicionada al frente) y la lectura 2 a 79 grados aproximadamente, en virtud que en algunas ocasiones no es necesario girar los 90 grados para depositar la caña en el interior de la jaula.

Figura 3. **Separación entre las lecturas de la tornamesa**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

También se efectuó la prueba de algunos operadores, que realizaran de forma simultánea los movimientos de subir la pluma y girar hacia el lado donde estaba la jaula; se observó que el resultado obtenido en la lectura de los sensores podría ser así: leer primero el sensor de giro en la tornamesa antes que el sensor de la pluma arriba para cumplir el algoritmo descrito anteriormente, o que por la posición de los 2 sensores que leen cada lado del giro, pudiera leer ambos sensores antes de llegar arriba. Para cada giro se tienen dos sensores.

Figura 4. **Pseudocódigo parte 1**

- Inicio
- Esperando
- Si la pluma esta abajo:
 - ENTONCES:
 - Estado pluma abajo
 - Si la pluma esta arriba:
 - ENTONCES:
 - Estado pluma arriba
 - Si la pluma esta girada hacia derecha 1 o izquierda 1
 - ENTONCES:
 - Estado giro 1
 - Si la pluma esta girada hacia derecha 2 o izquierda 2
 - ENTONCES:
 - Estado giro 2
 - Si la garra está abierta
 - ENTONCES:
 - Estado garra abierta
 - Uñada completada
 - Fin
 - SINO:
 - Estado giro 2
 - SINO:
 - Estado giro 1
 - SINO:
 - Estado pluma arriba
 - SINO:
 - Si la pluma esta girada hacia derecha 1 o izquierda 2
 - ENTONCES:
 - Estado giro 1
 - Si la pluma esta arriba
 - ENTONCES:

Fuente: elaboración propia, realizado con *software* Microsoft Word.

Figura 5. **Pseudocódigo parte 2**

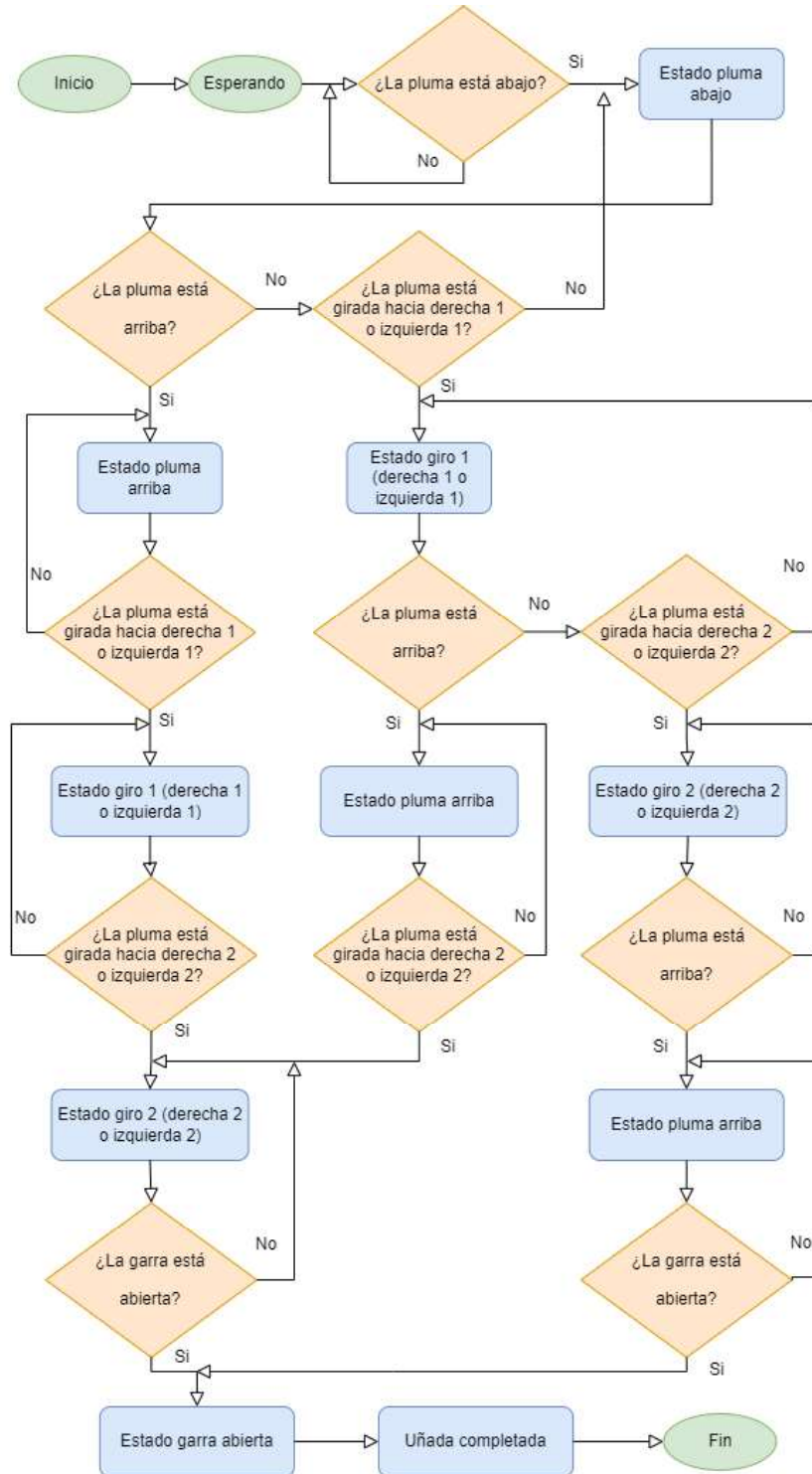
```

Estado pluma arriba
Si la pluma esta girada hacia derecha 1 o
izquierda 2
    • ENTONCES:
        Estado giro 2
        Si la garra está abierta
            ◦ ENTONCES:
                Uñada completada
                Fin
            ◦ SINO:
                Estado giro 2
        • SINO:
            Estado pluma arriba
    • SINO:
        Si la pluma esta girada hacia derecha 2 o
        izquierda 2
            • ENTONCES:
                Estado giro 2
                Si la pluma esta arriba
                    ◦ ENTONCES:
                        Estado pluma arriba
                        Si la garra está abierta
                            • ENTONCES:
                                Uñada completada
                                Fin
                            • SINO:
                                Estado pluma arriba
                    ◦ SINO:
                        Estado giro 2
            • SINO:
                Estado Giro 1
        ◦ SINO:
            Estado pluma abajo
    ◦ SINO:
        Esperando
    • Final

```

Fuente: elaboración propia, realizado con *software* Microsoft Word.

Figura 6. Diagrama de flujo para realizar una uñada



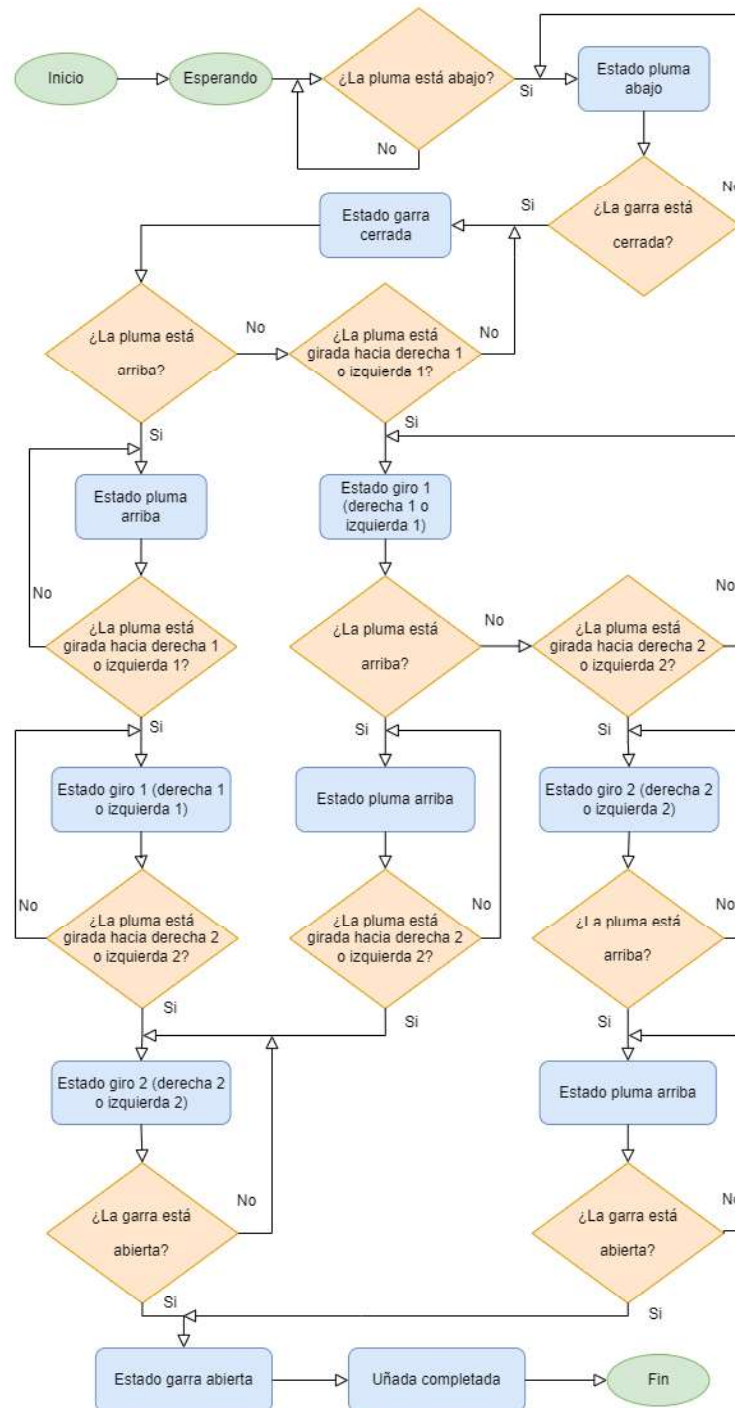
Fuente: elaboración propia, realizado con *software* Diagrams.net.

Se procedió solo la lectura de garra abierta y no la de la garra cerrada, porque ambas lecturas utilizan un sensor de presión para ser detectadas y se observó pocas unidades de sensores de presión en las bodegas del Ingenio Magdalena S. A.

Se consideró la opción de modificar el algoritmo para que no detecte las acciones que realiza la garra, ante la posibilidad de no adquirir más sensores de presión o de presentarse alguna demora en el proceso de compra y este sería igual de confiable.

Es de considerar que se tiene la posibilidad de detectar los dos movimientos que realiza la garra en un futuro próximo; considerándolo el diagrama de flujo del algoritmo queda como se muestra en la figura 7.

Figura 7. Diagrama de flujo de uñada con la lectura de la garra cerrada



Fuente: elaboración propia, realizado con *software* Diagrams.net.

1.6. Transductor

Es un dispositivo que convierte una magnitud física, propiedad o condición específica que se desea medir, en una salida utilizable; generalmente es utilizado para convertir o transformar un fenómeno físico en una señal eléctrica.

En la actualidad, los transductores son indispensables en los sistemas de automatización y control, por ejemplo: si se requiere registrar o usar magnitudes físicas para el control de un proceso, es necesario aplicar un transductor. Esto radica que para tener un mayor control se necesita registrar un número grande de magnitudes, bien sean magnitudes de temperatura o presión. Para que la electrónica pueda interpretar estas magnitudes es necesario que sea una señal legible, en este caso una señal eléctrica, y aquí es donde se aplica el transductor convirtiendo la magnitud física en una señal eléctrica. Se han establecido señales normalizadas que pueden ser leídas por muchos medidores. Los componentes de un transductor se describen a continuación.

- Sensor: dispositivo que está en contacto con las magnitudes físicas.
- Mecanismos auxiliares: sirven para que el dispositivo funcione correctamente y aumentan su durabilidad.
- Captador: proporciona la señal eléctrica establecida.
- Acondicionador de la señal o preamplificador: amplifica la señal y la convierte en otro formato.

Según la forma de la señal convertida, se pueden clasificar los transductores en dos tipos básicos:

- Transductores analógicos: proporcionan una señal analógica continua, como voltaje o corriente. Esta señal se puede utilizar como el valor de la variable física medida.
- Transductores digitales: generan una señal de salida digital, en la forma de un conjunto de bits en paralelo o en serie. La señal digital representa el valor de la variable medida de una forma u otra. En la automatización y en el control de procesos, los transductores digitales suelen tener la ventaja de ser más compatibles con las computadoras digitales que los transductores analógicos.
- Parámetros fundamentales.
 - Exactitud: se refiere a que tan cercano es el valor medido al valor real, entre más cercano o que no exista error, más exacta es la medición. Al efectuar varias mediciones de la variable, el promedio de error entre el valor real y el valor detectado tenderá a ser cero.
 - Precisión: se refiere a la dispersión del conjunto de valores de las mediciones aleatorias realizadas en la variable a medir. Entre menor sea la dispersión entre las mediciones mayor es la precisión de la medición. La dispersión en los valores de una serie de mediciones será mínima.
 - Rango de funcionamiento: a mayor rango de funcionamiento que ofrezca el transductor, más amplio será su funcionamiento, siempre garantizando mantener su precisión y exactitud.

- Velocidad de respuesta: el transductor debe responder al cambio de la variable detectada en el menor tiempo posible. Idealmente, será una respuesta inmediata.
- Calibración: calibrarse de una manera sencilla y rápida; y que esta calibración se mantenga, que no necesite recalibrarse frecuentemente para mantener su exactitud y precisión con el tiempo.
- Fiabilidad: tener la menor frecuencia de fallos en su funcionamiento.

1.7. Sensor

Un sensor es un dispositivo que se encuentra en contacto con un objeto o proceso, para percibir una magnitud física o química, llamadas variables de instrumentación, con el objetivo de realizar la medición de los cambios en la variable.

- Variable de instrumentación

Las variables de instrumentación pueden ser, por ejemplo: temperatura, presión, intensidad lumínica, distancia, aceleración, desplazamiento, inclinación, fuerza, torsión, humedad, pH, entre otros.

- Diferencia entre sensor y transductor

La diferencia entre estos es que el sensor siempre está en contacto con la variable de instrumentación, se podría decir que el transductor es la electrónica

adicional al sensor para obtener una señal útil de la lectura que realiza el sensor de la variable de instrumentación.

- Características de un sensor
 - Rango de medida: son los valores que se pueden medir con el sensor.
 - Ófset o desviación de cero: valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es cero o nula. Si la variable de entrada no alcanza un valor nulo dentro del rango de medición, generalmente se establece otro punto de referencia para definir el ófset.
 - Linealidad: indica que tan cerca está la correlación entre el valor de entrada y salida a una línea recta.
 - Sensibilidad de un sensor: valor mínimo que se necesita en la variable de entrada para ver un cambio en la variable de salida.
 - Resolución: la mínima variación en la magnitud de la variable de entrada que puede hacer un cambio en la variable de salida.
 - Rapidez de respuesta: la capacidad del sensor de seguir las variaciones en su entrada.
 - Precisión: la dispersión del conjunto de valores de las mediciones aleatorias realizadas en la variable a medir.

1.7.1. Tipos de sensores

Existen diferentes tipos de sensores que se han inventado para medir las variables de instrumentación, a continuación, se describen los sensores utilizados en el Ejercicio Profesional Supervisado.

1.7.1.1. Sensor magnético

Los sensores magnéticos detectan cambios en el campo magnético en respuesta a cambios de alguna magnitud física. Se basan en el efecto Hall, por lo que se denominan sensores de efecto Hall.

Se utilizan, principalmente como sensores de posición, velocidad y corriente eléctrica.

1.7.1.1.1. Efecto Hall

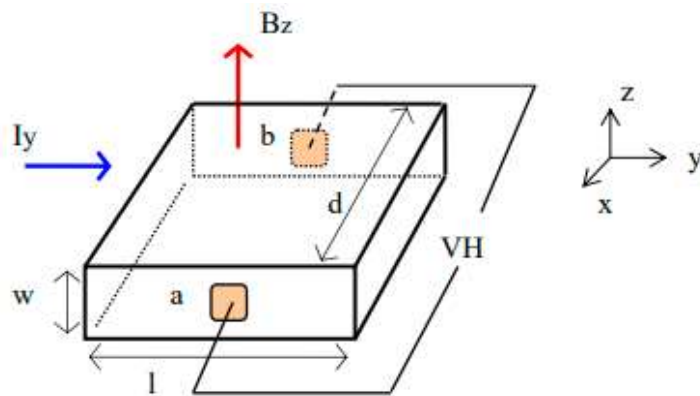
Es el resultado de la fuerza ejercida sobre una carga en movimiento, cuando se somete a un campo magnético y un campo eléctrico.

Si por un conductor circula una densidad de corriente J y está inmerso en un campo magnético B perpendicular a esta densidad de corriente, este provoca que aparezca un campo eléctrico normal al plano determinado por B y J . Este mecanismo, llamado efecto Hall, se puede utilizar para determinar las características de los semiconductores, tales como: tipo de portador (hueco o electrón), concentración o movilidad. También es la base de los dispositivos utilizados como sensores y medidores de campo magnético.

Al suponer que una corriente de intensidad I fluye a través de una muestra conductora, el vector de intensidad del campo eléctrico E coincide su dirección con I y el campo magnético B es en principio cero, como se observa en la figura 8.

Si el conductor es homogéneo, la superficie equipotencial que pasa por los puntos a y b, está situada perpendicularmente a la dirección del campo eléctrico E, por lo tanto, también a la dirección de la corriente I. Entonces, la diferencia de potencial entre los puntos a y b (VH) es cero. (Ver figura 8).

Figura 8. **Efecto Hall**



Fuente: Fernández, G. (2005) *Sensores magnéticos e inductivos*. Consultado el 2 de junio de 2021. Recuperado de <https://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Sensores%20magneticos.pdf>.

Ahora se coloca el conductor en un campo magnético de inducción $B \neq 0$, como se muestra en la figura 8. La ley de Lorentz establece que una carga q que se mueve a una velocidad v en un campo magnético B sufrirá la acción de una fuerza llamada fuerza de Lorentz.

$$F = q\vec{v} \times \vec{B}$$

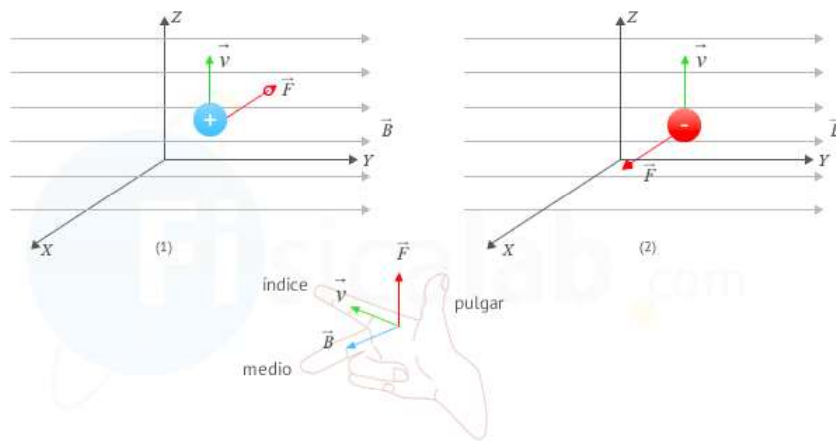
La dirección de esta fuerza F depende del producto vectorial de la velocidad v y del campo B .

Si la velocidad de las cargas es perpendicular al campo B, la acción de la fuerza de Lorentz desvía las cargas en dirección perpendicular a $\vec{v}$ y $\vec{B}$.

La dirección, también depende del signo de las cargas si q es positiva su sentido será el de $\vec{v} \times \vec{B}$ y el contrario si es negativo. Se origina una separación de cargas desviadas por la fuerza de Lorentz y aparece un campo eléctrico, se genera una diferencia de potencial entre los puntos a y b, que se denomina voltaje Hall.

Al aplicar la regla de la mano derecha, la dirección y sentido de la fuerza de Lorentz se pueden determinar gráficamente. Para hacer esto, se coloca la mano derecha donde el dedo índice coincida con la dirección y sentido del vector de velocidad, y el dedo medio coincida con la dirección y sentido del campo magnético. Si la carga es positiva, el pulgar indicará la dirección y dirección de la fuerza. Si es un número negativo, indicará su dirección, aunque la dirección será opuesta a la que marca el pulgar.

Figura 9. **Aplicación de la regla de la mano derecha**

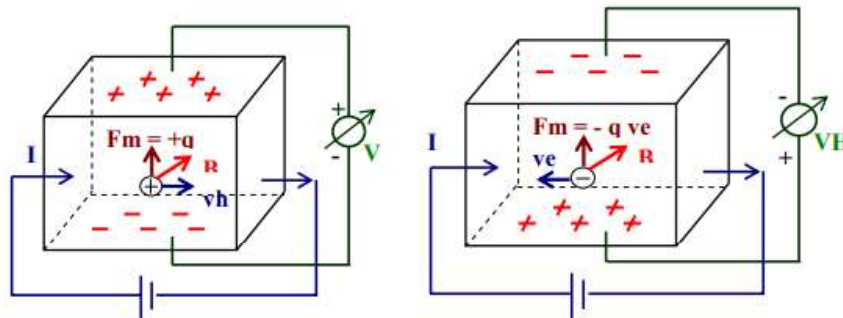


Fuente: Fernández, J. (2014) *Ley de Lorentz*. Consultado el 3 de junio 2021. Recuperado de <https://www.fisicalab.com/apartado/ley-de-lorentz>.

La figura 10 muestra el efecto de la fuerza de Lorentz sobre un hueco y sobre un electrón. El campo magnético B es perpendicular a la corriente.

En ambos casos, los portadores experimentarán una fuerza que los desviará hacia la superficie superior de la muestra. El voltímetro en los terminales a-b determinará la diferencia de potencial de Hall (V_H).

Figura 10. **Acción de la fuerza de Lorentz**



Fuente: Fernández, G. (2005) *sensores magnéticos e inductivos*. Consultado el 3 de junio 2021. Recuperado de <https://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Sensores%20magneticos.pdf>.

1.7.1.1.2. **Sensor de efecto Hall**

Los sensores que se basan en este efecto se producen a partir de finas placas semiconductoras, ya que en ellas la densidad de portadores de carga es reducida y por ello la velocidad de los electrones es elevada para conseguir un voltaje alto de Hall. Cuando existe un campo magnético externo, se utiliza para detectar el movimiento, posición o cambio de materiales magnéticos o ferromagnéticos. Tiene estabilidad térmica, su consumo de energía es muy bajo y es de bajo costo.

La mayoría de los sensores modernos se basan en semiconductores de GaAs o InAs, porque dan un voltaje Hall relativamente grande.

El modelo del sensor de efecto Hall utilizado es el NJK-5002C. El sensor NJK-5002 C es un interruptor de proximidad magnético por efecto Hall, cuyo núcleo es un chip de sensor de efecto Hall unipolar.

Este sensor de proximidad magnético de 3 cables puede ser alimentado por cualquier fuente de alimentación de CC de 6-36 V (típicamente 12 V), puede impulsar cualquier carga de CC resistiva/inductiva si la corriente máxima de funcionamiento no supera los 150mA. El NJK-5002C está configurado para trabajar con el polo sur(S) de un imán permanente, ubicado hasta 10 mm de distancia. También cuenta con un indicador led rojo en la parte inferior del sensor para mostrar que detectó el imán.

Figura 11. **Sensor NJK-5002C**



Fuente: TK, Hareendran. (2019) *The NJK-5002C Hall-Effect Sensor Proximity Switch*. Consultado el 7 de junio 2021. Recuperado de <https://www.codrey.com/electronic-circuits/the-njk-5002c-hall-effect-sensor-proximity-switch/>.

1.7.1.2. Sensor capacitivo

Los sensores capacitivos funcionan según el principio de un capacitor de placas ideal, estos sensores se basan en detectar cambios en la capacitancia, ya sea cambiando la distancia entre las placas o cambiando el dieléctrico entre ellas.

1.7.1.2.1. Efecto capacitivo

Cuando hay dos superficies conductoras cargadas de cualquier forma o tamaño y son paralelas entre sí, se produce el efecto capacitivo. Si estos materiales inicialmente no tienen ningún tipo de carga o potencial, entonces no hay ningún tipo de carga en ningún material. Sin embargo, una vez que tengan potencial eléctrico, comenzarán a atraer electrones, porque uno de los materiales comenzará a cargarse positivamente y el otro cargará negativamente. Esta atracción de electrones terminará hasta que las dos superficies conductoras tengan el mismo potencial para generar la carga inicial.

1.7.1.2.2. Capacitancia

La capacitancia identificada por la letra C es la capacidad de cada material conductor para almacenar carga eléctrica. Es la relación entre la carga eléctrica de cada conductor y la diferencia de potencial entre ellos.

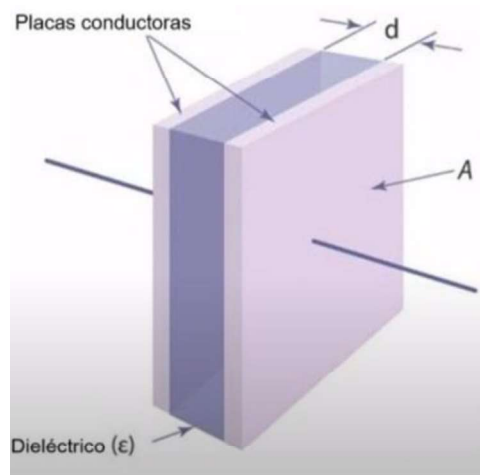
El Sistema Internacional de Unidades (SI) estipula que la capacitancia se mide en faradios y su símbolo es F.

En un capacitor de placas paralelas la capacitancia es igual a:

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

Donde ϵ es la permitividad de dieléctrico, A es el área de solapamiento de las placas o el área de superposición de ambas, d es la distancia que separa ambas placas.

Figura 12. **Capacitor de placas paralelas**



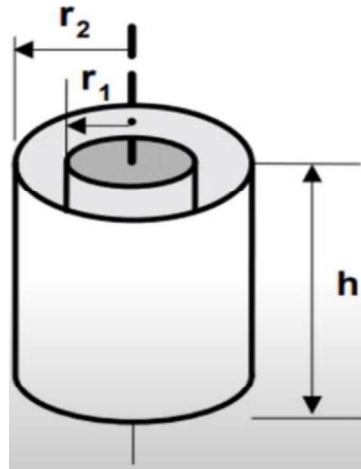
Fuente: Pérez, Y. (2020) *Sensores capacitivos*. Consultado el 12 de junio 2021.
Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=LeXYCCWdwBo&t=18s>.

En un capacitor de geometría cilíndrica la capacitancia es igual a:

$$C = \frac{2\pi\epsilon h}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

Donde r_1 identifica el radio del primer cilindro que conforma la primera placa, r_2 el radio del segundo cilindro, estos tienen una altura h con una constante dieléctrica que es ϵ .

Figura 13. **Capacitor con geometría cilíndrica**



Fuente: Pérez, Y. (2020) *Sensores capacitivos*. Consultado el 12 de junio 2021.
Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=LeXYCCWdwBo&t=18s>.

1.7.1.2.3. Sensor GLTV7

Es un sensor de nivel de combustible capacitivo, este detecta continuamente el nivel de combustible midiendo el cambio de capacitancia cuando cambia de nivel. Esto gracias a que se modifica la permitividad dieléctrica, ya que en una parte va a estar cubierta del líquido y otra parte que no lo está, estas 2 fases tendrán una permitividad dieléctrica distinta y esta diferencia es lo que se utiliza para saber cómo va evolucionando el nivel y variando la capacitancia.

El sensor posee la facilidad de acortarse para adaptarse a diferentes profundidades del tanque de combustible, este debe ser calibrado antes de utilizarse para definir cuál será su capacitancia sin líquido, y su capacitancia, cuando el nivel de combustible esté completo.

Tabla III. **Especificaciones sensor GLTV7**

| | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Rango de nivel | 200 ~ 1 5 00 mm (puede acortarse) |
| Medio | Gasolina, diésel, kerosén |
| Señal de salida | Salida de voltaje: 0 ~5V, 0.5 ~ 4.5V |
| Fuente de alimentación | CC 10-32 V / 5 V |
| Resolución | ≤ 1 mm |
| Corriente operativa máxima | <15 mA |
| Rango de temperatura | -40 ~ + 85 °C / -40 ~ + 185F |
| Frecuencia | 5 s / tiempo (se puede personalizar) |
| Clase de protección | IP65 |
| Material de la sonda | Aluminio |
| Material de la caja de conexiones | Plástico |

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Sensor GLTV7**



Fuente: Gavin. (2017) *GAMICOS*. Consultado el 15 de junio 2021. Recuperado de <http://www.gavincc.com/gamicos/category-3/85.html>.

1.7.1.3. Sensor de presión

El sensor de presión convierte el valor de presión en una señal eléctrica. La mayoría de los sensores de presión miden la deformación de una membrana según la diferencia de presión aplicada en ambos lados.

La mayoría de los sensores de presión miden la deformación de la membrana bajo la presión que se le aplica, que es el valor que se quiere saber. Dado que la membrana tiene dos lados, se aplica otra presión en el segundo lado, por lo que la deformación medida es el resultado de la diferencia de presión entre los dos lados de la membrana.

Considerando 3 tipos de presiones de referencia, existen 3 tipos de sensores:

- Presión absoluta: en un sensor de presión absoluta, el segundo lado de la membrana está en un estado de vacío. Su deformación es exactamente igual a la presión medida.
- Presión relativa: en un sensor de presión relativa, el segundo lado de la membrana está sometido a presión atmosférica. Su deformación es igual a la diferencia entre la presión medida y la presión ambiental.
- Presión diferencial: el sensor de presión diferencial cuenta con 2 entradas, una a cada lado de la membrana. Su deformación es entonces la diferencia de presión entre las 2 entradas.

Los sensores de presión utilizan diferentes tecnologías para proporcionar resultados precisos. A continuación, algunas de ellas.

- Sensores de presión de galgas extensométricas piezorresistivas: utilizan el efecto piezorresistivo de una o más galgas extensiométricas adheridas o formadas en la estructura para detectar deformaciones debidas a la aplicación de presión. Mide el cambio en la resistencia cuando la presión deforma el material. Normalmente estas galgas extensométricas se configuran para formar un puente de Wheatstone para reducir la sensibilidad y amplificar la señal de salida.
- Sensores de presión capacitivos: usan una cavidad de presión y una membrana para formar condensadores variables. Cuando se aplica presión, la membrana se deforma y la capacitancia disminuye proporcionalmente.
- Sensores de presión resonantes: utilizan los cambios en la frecuencia de resonancia del mecanismo de detección para medir el esfuerzo causado por la presión aplicada. Dependiendo de cuál sea el diseño del sensor, el elemento resonante puede estar expuesto al medio. En este caso, la frecuencia de resonancia depende de la densidad del medio. En algunos casos, estos sensores son sensibles a golpes y vibraciones.

1.7.1.3.1. Sensor MPM 489

El MPM 489 es un sensor piezorresistivo, el cual está aislado por un diafragma de acero inoxidable, cuenta con un circuito amplificador que está instalado en una carcasa de acero inoxidable. Este sensor tiene un gran rango de medición. Puede trabajar con diferentes fluidos. La señal que entrega es una señal de corriente normalizada de 4 mA a 20 mA, la cual puede ser ajustada.

Figura 15. **Sensor MPM 489**



Fuente: CELMI. (2020) *MPM489*. Consultado el 17 de junio 2021. Recuperado de <https://www.celmi.com/eng/products/pressure-sensors/mpm489-3073.html>.

Tabla IV. **Especificaciones sensor MPM 489**

| | |
|----------------------|----------------|
| Rango de presión | 0 a 1000 bares |
| Tipo de presión | Absoluta |
| Alimentación | 10 a 30 V DC |
| Señal de salida | 4 a 20 mA |
| Clase de protección | IP65 |
| Rango de temperatura | -40°...+120°C |

Fuente: elaboración propia.

1.7.1.3.2. Presostato

Un presostato o interruptor de presión es un dispositivo que cierra o abre un circuito eléctrico basado en la lectura de presión de un fluido.

El fluido ejerce presión sobre el pistón interno, lo que hace que se mueva hasta que los dos contactos se encuentran. Cuando la presión cae, el resorte empuja el pistón en la dirección opuesta y los contactos se separan. El tornillo

permite que el resorte ejerza mayor o menor fuerza sobre el pistón para ajustar la sensibilidad de disparo del interruptor de presión. Suele tener dos ajustes independientes: presión de apertura y presión de cierre.

El modelo del presostato utilizado SUCO 0196459031009. Como se mencionó anteriormente, el presostato es un interruptor de presión y existen, normalmente, abierto y cerrado; el presostato SUCO 0196459031009 es un presostato normalmente cerrado, quiere decir que cuando no presente presión habrá continuidad entre sus contactos, y cuando exista presión, sus contactos se separarán.

Figura 16. **Presostato SUCO 0196459031009**



Fuente: HIDRAMATIC. (2015) *Presostatos*. Consultado el 18 de junio 2021. Recuperado de <https://www.hidramatic.com/es/pressure-switch/suco/0196459031009>.

Tabla V. **Especificaciones presostato SUCO 0196459031009**

| | |
|---|---------------|
| Alimentación | 5 – 24 V. DC |
| Corriente de trabajo nominal | 4/2 A |
| Corriente nominal en los contactos máxima | 5 A |
| Rango de temperatura | -40°...+100°C |
| Clase de protección | IP65 |

Continuación de la tabla V.

| | |
|---------------------|-----------------------|
| Presión máxima | 300 bar |
| Campo de regulación | 10-50 bar (± 3) |

Fuente: elaboración propia

1.8. Transmisión de datos digitales

Cuando se requiere transmitir datos de un dispositivo a otro, el cableado es una buena opción para hacerlo. La transmisión de estos datos binarios se puede llevar a cabo en modo serie o en modo paralelo. En el modo serie se envía un *bit* por cada pulso de reloj; mientras que en el modo paralelo se envían varios *bit* por cada pulso de reloj.

1.8.1. Transmisión paralela

Si se agrupan los datos, se pueden enviar N cantidad de *bit* al mismo tiempo en vez de un *bit* a la vez. Denominándosele transmisión paralela.

El método de la transmisión paralela es conceptualmente simple: usar N líneas para enviar n *bit* a la vez. De esta manera, cada *bit* tiene su propia línea y todos los n *bit* de un grupo pueden transmitirse de un dispositivo a otro con cada pulso de reloj.

La ventaja que presenta la transmisión paralela es la velocidad. La transmisión paralela puede aumentar la velocidad de transmisión en un factor de N sobre la transmisión serie. Pero hay una desventaja, el costo. Al transmitir de forma paralela, se necesita N líneas de comunicación(cableado) para llevar a cabo el envío de los datos. En consecuencia, el uso de la transmisión paralela, generalmente se limita a distancias cortas.

1.8.2. Transmisión serie

En esta transmisión un *bit* sigue al otro, por lo que solo se necesita un canal de comunicación para transmitir datos entre dispositivos y no N canales.

La ventaja que presenta esta transmisión, ante la transmisión paralela es que, al solo necesitar un canal de comunicación, los costos de transmisión se reducen. La desventaja que presenta es que la velocidad con la que se transmite se reduce.

La transmisión serie se puede realizar de dos maneras: asíncrona y síncrona.

1.8.2.1. Transmisión asíncrona

La transmisión asíncrona se denomina así debido a que no hay ninguna relación temporal entre el dispositivo que transmite y el que recibe. En su lugar, utilizan un patrón acordado para recibir y traducir información. Siempre que se siga esto, el dispositivo que recibe puede recuperar la información sin tener en cuenta el ritmo al que llega. Los patrones se basan en agrupar los *bit* en *byte* (ocho *bit*), se envía a lo largo de un enlace como una unidad. El sistema transmisor gestiona cada grupo independientemente, entregándolo al enlace en cuanto está listo, sin tener en cuenta la relación temporal entre el transmisor y el receptor.

Sin la existencia de un pulso de sincronización, el receptor no puede usar el tiempo para predecir cuándo va a llegar un *byte* de información.

Por lo tanto, para notificar al receptor la llegada de un nuevo *byte* de información, es necesario agregar un *bit* adicional al comienzo de cada *byte*. Este *bit*, normalmente un cero, se denomina *bit* de inicio. Para que el receptor sepa que el *byte* ha terminado, se agregan uno o más *bit* adicionales al final de cada *byte*.

Estos *bit*, generalmente son unos, se denominan *bit* de parada. Usando este método, el tamaño de cada *byte* se incrementa hasta al menos diez *bit*, de los cuales ocho son de información y dos o más son señales para que el receptor conozca cuando inicia y termina el *byte* de información. Además, la transmisión de cada *byte* puede venir seguida por un intervalo de tiempo variable. Este intervalo se puede representar mediante un canal vacío o una cadena de *bit* de parada adicionales.

Los *bit* de inicio, parada y el intervalo de tiempo le indican al receptor el comienzo y el fin de cada *byte* y permitirle sincronizarse con el flujo de datos. Este mecanismo es al que se le denomina *asíncrono* porque el emisor y el receptor no tienen que estar sincronizado a nivel de *byte*. Pero dentro de cada *byte*, el receptor sí debe estar sincronizado con el flujo de *bit* que le llega. Es decir, que durante el tiempo que se recibe un *byte*, debe haber algún tipo de sincronización. Cuando el receptor detecta el *bit* de inicio, activa un temporizador y comienza a contar los *bit* a medida que llegan. Después de N *bit*, el receptor busca el *bit* de parada. Una vez que lo detecta, ignora cualquier pulso recibido hasta que detecta un nuevo *bit* de inicio, nuevamente.

1.8.2.2. Transmisión síncrona

En la transmisión síncrona, el flujo de datos se combina y se hacen tramas más largas que pueden contener varios *byte*. Cada uno se envía al enlace de

transmisión sin ningún intervalo con el siguiente. El receptor se debe encargar de separar el flujo de bits en *byte* para su decodificación.

Es decir, que los datos se transmiten como una cadena continua de unos y ceros y el receptor se encarga de separar esta cadena en *byte* si necesita reconstruir la información.

Si el emisor desea enviar datos en intervalos separados, estos intervalos entre datos deben de rellenarse como una secuencia especial de unos y ceros que indiquen vacío. El receptor cuenta los *bit* a medida que llegan y los agrupa en *byte*.

La ventaja que ofrece la transmisión síncrona es la velocidad. Dado que no hay *bit* extras que introducir en el emisor, ni que quitar del receptor; con esto se consigue transmitir menos *bit* a lo largo del enlace, lo que hace que la transmisión síncrona sea más rápida que la transmisión asíncrona.

1.9. Microcontrolador

Es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar diferentes instrucciones de forma secuencial con el fin de controlar o automatizar algún proceso. El microcontrolador está compuesto por cuatro unidades principales:

- Memoria: donde se encuentran las funciones que puede ejecutar, el código con las sentencias que ejecutarán y todos los datos y cálculos volátiles que ayudan en la ejecución de los códigos.
- Unidad de procesamiento: esta se encarga de ejecutar las instrucciones programadas en la memoria.

- Periféricos: los que auxilian en la ejecución de las instrucciones, como: contadores, convertidores ADC, puertos de comunicación y temporizadores.
- Puertos de entrada y salida: sirven para la lectura de datos y reciben señales del exterior.

Para programar un microcontrolador se debe desarrollar un código con las instrucciones que llevará a cabo el microcontrolador por medio de una interfaz de desarrollo; posteriormente este código se decodifica a lenguaje máquina; una vez decodificado, se almacena en la memoria del microcontrolador con ayuda de un programador, cuando el microcontrolador ya tiene la lógica almacenada en su memoria, la ejecuta una y otra vez, mientras tenga alimentación o sea reprogramado.

Los microcontroladores cuentan con varios elementos necesarios para operar, incluso en algunos casos con solo darles energía es suficiente.

Es común encontrar tarjetas de desarrollo con microcontroladores y *hardware* adicional, como botones, leds o pantallas LCD, para facilitar la creación de prototipos e incluso es posible usar tarjetas diseñadas que pueden montarse directamente en la tarjeta de desarrollo del microcontrolador con el fin de facilitar la implementación de los microcontroladores en diferentes aplicaciones, que pueden ser el control de temperatura o iluminación de un lugar determinado, hasta la automatización de una máquina.

1.9.1. Arduino

Es una plataforma electrónica de código abierto basada en *hardware* y *software* fáciles de usar.

El *hardware* de Arduino es una placa de desarrollo basada en un microcontrolador ATMELE y demás dispositivos necesarios para que el microcontrolador funcione. Este microcontrolador de Arduino tiene una interfaz de entrada, que es una conexión donde se puede conectar diferentes tipos de dispositivos periféricos en la placa.

La información de estos periféricos que se conecten se transmitirá al microcontrolador y el microcontrolador será responsable de procesar los datos que pasen a través de ellos.

Los tipos de periféricos que se utilizan para enviar datos al microcontrolador dependen en gran medida del uso que se considere. Pueden ser pulsadores, una cámara para capturar imágenes o diferentes tipos de sensores.

También tiene una interfaz de salida que se encarga de llevar la información procesada en el Arduino a otros periféricos. Estos dispositivos periféricos pueden ser led o pantallas para reproducir los datos procesados, pero también pueden ser otras placas o controladores.

1.9.1.1. Arduino Nano

Es una de las placas populares de Arduino y esto se debe a su tamaño, que sus capacidades no varían tanto con otros modelos de mayor tamaño y que su costo es menor al de estas. Una de las utilizaciones comunes es como segunda placa. Se compone de un procesador ATMEGA 328P, tiene un conector mini USB para conectarlo a la computadora, tiene un conversor USB-TTL que permite conectar la placa a la computadora, obtener alimentación y la comunicación para cargar programas y un regulador de 5V conectado a un pin

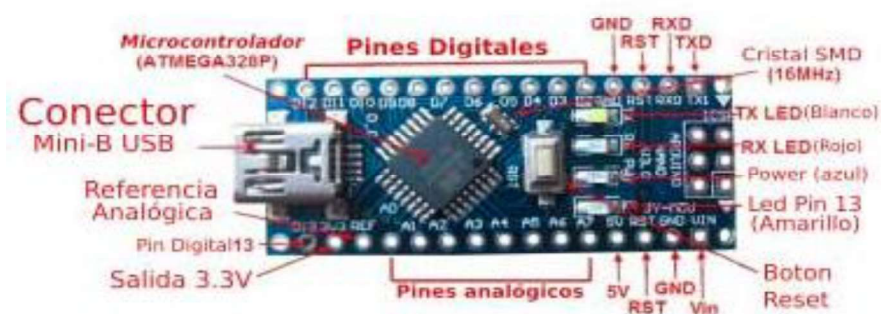
para usarlo como alimentación a dispositivos externos, una vez el Arduino Nano esté siendo alimentado.

Tabla VI. **Especificaciones Arduino Nano**

| | |
|-----------------------------|--|
| Voltaje de operación | 5V |
| Memoria <i>flash</i> | 32 KB de los cuales 2KB son utilizados por el gestor de arranque |
| SRAM | 2KB |
| Reloj | 16 MHz |
| Pines analógicos de entrada | 8 |
| EEPROM | 1 KB |
| Corriente CC en pines | 40 mA (pines de E/S) |
| Voltaje de entrada | 7-12V |
| Pines de E/S digitales | 22 |
| Salida PWM | 6 |
| Consumo de energía | 19mA |

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Arduino Nano**



Fuente: Carmenate, J. G. (2020) *Arduino Nano il capo de la familia Arduino Nano*. Consultado el 1 de julio 2021. Recuperado de <https://programarfácil.com/blog/arduino-blog/familia-arduino-nano/>

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

En esta fase se trabajó la implementación del sistema transductor para el alce de la cosecha manual en la máquina alzadora 2254, quedó descrito como está compuesto el sistema, desde la tarjeta electrónica, la lógica de programación del microcontrolador, la instalación de sensores y del *enclosure* en la alzadora, la ubicación de los imanes para accionar a los sensores de efecto Hall y como se comunica con el proyecto del horómetro digital, GPS y *bluetooth* que trabajó en paralelo el equipo técnico-profesional de Automatización Agrícola del Departamento de Agricultura de Precisión del Ingenio Magdalena S. A.

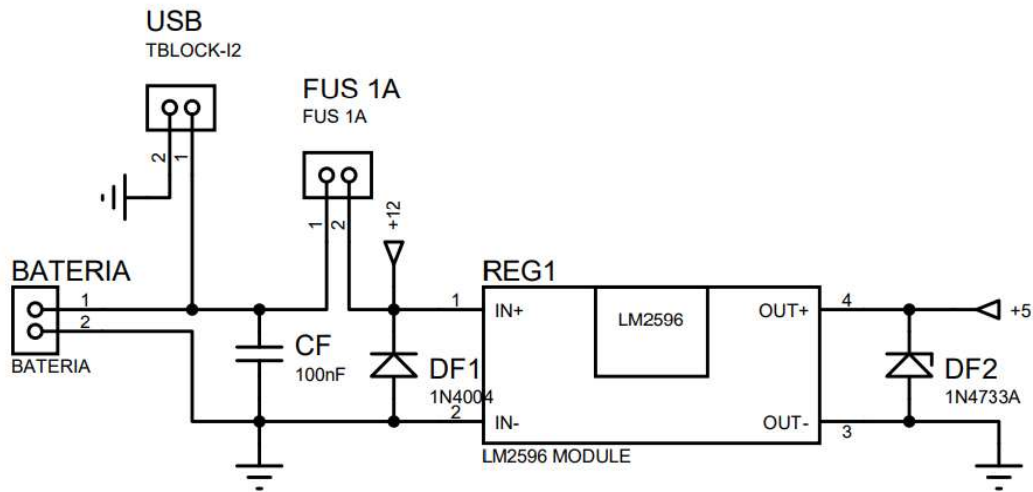
2.1. Diseño de los circuitos de la tarjeta electrónica

La tarjeta electrónica será la encargada de la alimentación de varios dispositivos que componen el sistema de la lectura de los sensores que detectan los movimientos, así como los sensores que detectan los niveles de combustible y carga de la batería.

2.1.1. Alimentación

El circuito utilizado para alimentar la tarjeta electrónica, se describe en la figura 18.

Figura 18. Circuito de alimentación



Fuente: elaboración propia, realizado con *software* Proteus.

El sistema se alimenta con los 12V DC que entrega la batería de la alzadora y se divide en dos etapas: sin protección y con protección; la etapa sin protección sirve únicamente para alimentar el convertido de 12V a 5V USB; y la etapa con protección se divide en dos voltajes, los cuales son 12V y 5V ambos para alimentar los componentes de la tarjeta electrónica como a los sensores externos al *enclosure*.

Etapas sin protección: esta etapa como se menciona anteriormente es para poder alimentar un módulo convertidor de 12V a 5V en salida USB, el cual tiene como función ser una fuente de carga para la *tablet* que se usa para visualizar la aplicación móvil donde van a dar los datos que se envían por medio *bluetooth*. El módulo puede suministrar hasta 3A. Esta etapa es el terminal block en el diagrama que tiene como nombre USB, se colocó un capacitor cerámico en paralelo para disminuir el rizado y ruido que pueda llevar el cable de alimentación.

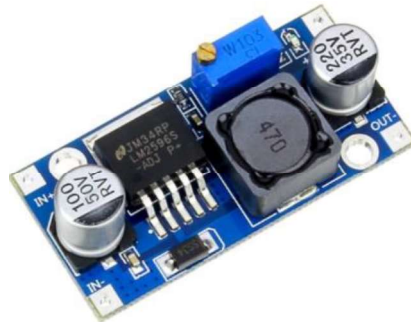
Figura 19. **Módulo convertidor de 12V a 5V en salida USB**



Fuente: BeautyBuy. (2017). *Módulo convertidor de DC 12V a 5V 3A 15W salida USB adaptador de corriente*. Consultado el 4 de julio. Recuperado de 2021
<https://www.joom.com/es/products/1474601271727059227-103-1-26341-3512368132>.

Etapa con protección: esta cuenta con la protección de un fusible de 1A, se realizaron pruebas de laboratorio y la corriente máxima que tuvo el *enclosure* fueron 500 mA, con un diodo en antiparalelo, por si llegase a conectar la fuente con los polos contrarios. Para que la corriente pase por el diodo y no por el resto del circuito; esto con los 12V que ofrece esta etapa, para suministrar los 5V de esta etapa se utiliza un módulo conversor DC-DC. El módulo conversor DC-DC LM2596 es un reductor de voltaje variable hasta una mínima diferencia entre entrada y salida de 1.5V, el voltaje de salida se debe calibrar antes de usarse, el módulo cuenta con un potenciómetro para calibrar el voltaje de salida que se desea; en la salida del módulo se tiene un diodo Zener 1N4733A, el cual tiene un voltaje Zener de 5.1V, esto como protección por si llegase a descalibrar el módulo con algún movimiento accidental en el potenciómetro.

Figura 20. **Módulo conversor DC-DC LM256**



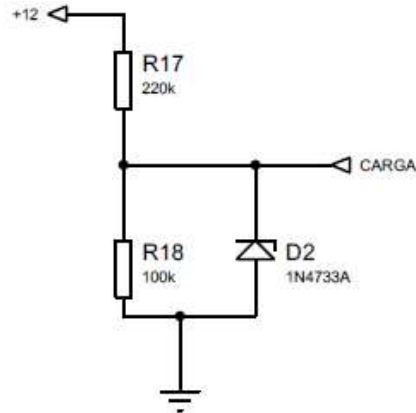
Fuente: Electrónica sigma. (2021). *Módulo regulador STEP-DOWN LM2596*. Consultado el 14 de julio 2021. Recuperado de <https://electronicasigma.com.gt/producto/modulo-regulador-step-down-lm2596/>.

2.1.2. Carga de la batería

El voltaje de una batería con un 90 % de vida útil es de 12.6V y un 12.1V quiere decir que ya necesita carga; encendida la alzadora el alternador empieza a cargar la batería, generando hasta 14.5V. Se tomó que la batería con el alternador funcionando podía llegar a 16V.

Para detectar el nivel de carga de la batería se utilizó el circuito, que se representa en la figura 21.

Figura 21. **Circuito de carga de la batería**



Fuente: elaboración propia, realizado con *software* Proteus.

El circuito anterior es un divisor de tensión; para los cálculos de las resistencias se tomó como voltaje máximo de entrada 16V, y voltaje máximo de salida 5V, ya que este voltaje va hacia un pin analógico del Arduino Nano. La deducción es la siguiente:

$$V_{salida} = \frac{V_{entrada}}{R_{17} + R_{18}} * R_{18}$$

Sustituyendo los valores de los voltajes para encontrar la relación que deben tener las 2 resistencias y con esto tener la relación proporcional del voltaje de entrada con el de salida, queda así:

$$V_{salida} * R_{17} = R_{18}(V_{entrada} - V_{salida})$$

$$5R_{17} = R_{18}(16 - 5)$$

$$5R_{17} = 11R_{18}$$

$$R_{17} = \frac{11}{5}R_{18} \rightarrow R_{17} = 2.2 * R_{18}$$

Queda la relación entre las resistencias que R17 es 2.2 veces el valor de R18; buscando valores comerciales de resistencias que cumplieran esta relación, se designaron los siguientes valores: R17=220k Ω y R18=100K Ω ; ya teniendo esto solo es de aplicar una regla de tres sabiendo que al entrar 16V el Arduino leerá 5V. Se le colocó un diodo Zener 1N4733A, el cual tiene un voltaje Zener de 5.1V, esto como protección por si el voltaje de entrada sobrepasa los 16V y, por consiguiente, el voltaje de salida del divisor de tensión aumentaría, esto podría causar daños al pin del Arduino.

2.1.3. Lectura de sensores

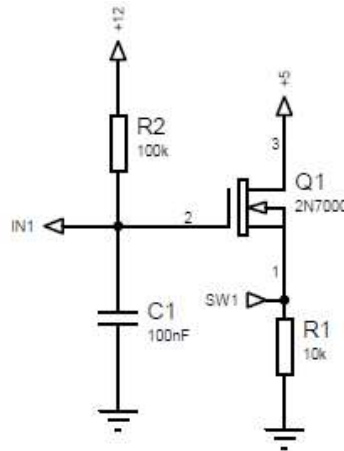
Como se mencionó al principio, una de las funciones principales de la tarjeta electrónica es la lectura de los sensores que detectan magnitudes físicas que aportan valor al análisis de la productividad en el alce de la cosecha manual.

2.1.3.1. Detección de movimientos de la alzadora de caña SP 2254 John Deere

Para la detección de los movimientos que realiza la alzadora para completar una uñada se utilizan sensores de efecto Hall en su mayoría, y un sensor de presión de aceite para detectar que abrió la garra en la palanca de mando, esto porque colocar un sensor externo en la garra tiene un gran riesgo a sufrir daños constantemente.

Para los movimientos de giro 1 y 2 derecha, giro 1 y 2 izquierda arriba y abajo, se utilizan sensores de efecto Hall, para la lectura de estos sensores se utilizó el siguiente circuito, que se representa en la siguiente figura 22.

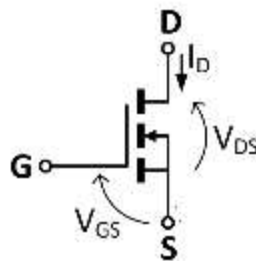
Figura 22. **Circuito de lectura de movimientos**



Fuente: elaboración propia, realizado con *software* Proteus

En este circuito se utiliza un transistor MOSFET 2N7000, el cual es de canal N. Según el fabricante tiene un voltaje de umbral de 0.8V y 0.1S de parámetro de transconductancia.

Figura 23. **MOSFET canal N**



Fuente: García, V. (2012). *El transistor MOSFET*. Consultado el 20 de julio 2021.
Recuperado de <https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/el-transistor-mosfet>.

El transistor MOSFET tiene 3 zonas de trabajo (corte, óhmica y saturación o activa), las cuales tienen las siguientes ecuaciones para definir I_D (corriente de drenaje).

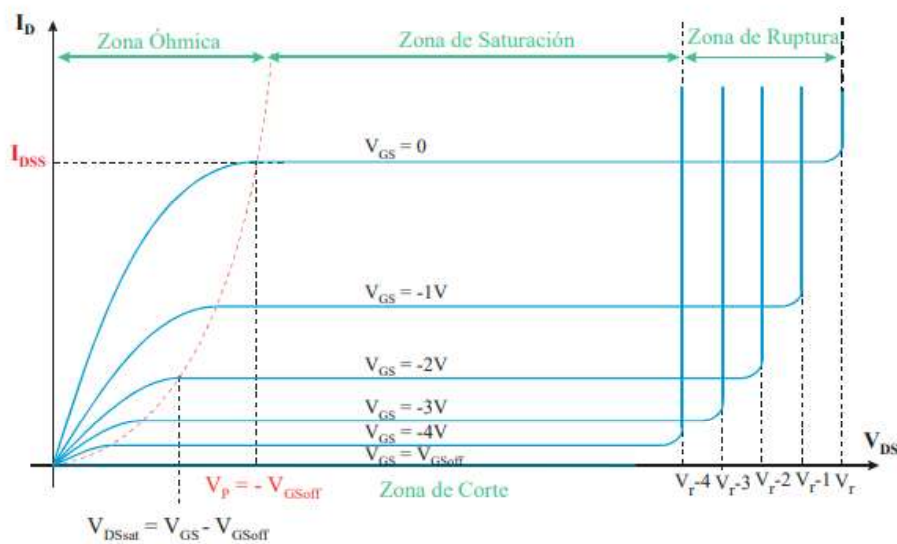
$$I_D = 0 \text{ si } (V_{GS} - V_t) < 0 \quad \text{zona de corte}$$

$$I_D = K_n[2(V_{GS} - V_t) * V_{DS} - V_{DS}^2] \text{ si } 0 < (V_{GS} - V_t) < V_{DS} \quad \text{zona óhmica}$$

$$I_D = K_n(V_{GS} - V_t)^2 \text{ si } (V_{GS} - V_t) > V_{DS} \quad \text{zona de saturación}$$

Donde: V_{GS} es voltaje entre *gate* y *source*, V_t es el voltaje de umbral (lo da el fabricante), K_n es el parámetro de transconductancia (también lo da el fabricante), V_{DS} es voltaje entre *drain* y *source*. La corriente de *drain* es igual a la corriente de *source*.

Figura 24. Zonas de trabajo del MOSFET canal N



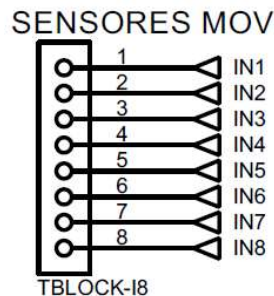
Fuente: Universidad del país vasco. (2009). *Tema 7. Transistores de efecto de campo*

Consultado el 21 de julio 2021. Recuperado de

https://ocw.ehu.eus/file.php/110/electro_gen/teoria/tema-7-teoria.pdf

La terminal IN1 va hacia un terminal block donde se conectan los sensores para detectar los movimientos.

Figura 25. **Terminal block**



Fuente: elaboración propia, realizado con *software* Proteus.

Los sensores de efecto Hall son alimentados con 12V, estos cuando no tengan cercano un campo magnético (se utiliza un imán), entregarán el voltaje de alimentación y cuando tengan cerca el imán entregarán 0V; tomando en cuenta lo anterior, se trabajará únicamente en la zona de corte y saturación del MOSFET, ya que si se sustituyen valores en las ecuaciones de corriente de drenaje se ve que cuando la entrada IN1 sea 0 el MOSFET estará en corte, y cuando la entrada sea mayor a 5V, aproximadamente, el MOSFET estará en saturación, en otras palabras si el voltaje de *gate* es mayor al voltaje de *drain* en *source*, se tendrá un voltaje casi igual al voltaje de *drain*, y si el voltaje de *gate* es menor al voltaje de umbral se tendrá un voltaje muy cercano al 0 en *source*.

La entrada IN1 se coloca una resistencia R2 que se utiliza como resistencia *pull up*, esto con el fin de darle un estado lógico al *gate* del MOSFET, además se agregó un capacitor para evitar rebotes que pueda provocar la entrada al cambiar de estado. Y la salida de voltaje que es el voltaje en *source* o la R1 va hacia un pin digital del Arduino Nano.

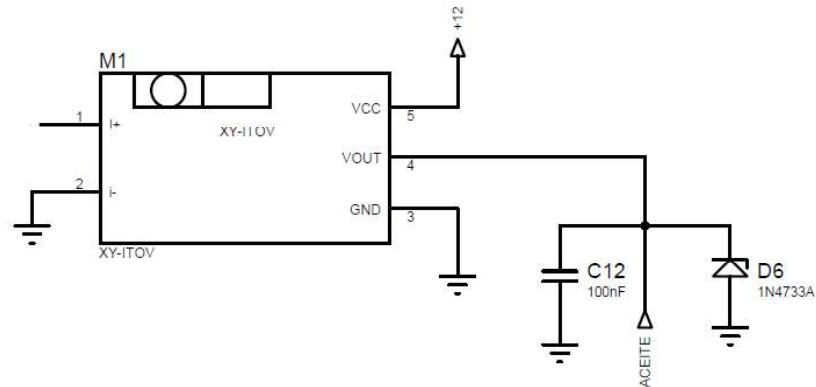
2.1.3.2. Sensor de presión de aceite

Para la detección del movimiento de abrir la garra se utilizó un sensor de presión.

El Ingenio Magdalena S. A., entre su inventario, contaba con dos sensores de presión, al respecto fue diseñada la tarjeta electrónica para que puedan ser utilizados cualquiera de los dos. El primero es un presostato SUCO 0196459031009; y el segundo, el sensor de presión MPM489. Como se detalló en la fase de investigación, el presostato SUCO 0196459031009 es un interruptor de presión normalmente cerrado, por consiguiente tiene dos estados lógicos cerrado o abierto, para la lectura de este se utilizó el circuito de lectura de movimientos (figura 22), y lo que interrumpirá el presostato es negativo, quiere decir que cuando no tenga presión, entregará 0V, y cuando tenga presión se abrirá y no entregará nada, pero como tiene la resistencia de *pull up*, el *gate* tendrá los 12V de alimentación de esa resistencia, así que también puede trabajar en corte y saturación del MOSFET.

El sensor MPM489 la señal de salida es de corriente, se utiliza un módulo de conversión de corriente a voltaje, este puede convertir una señal de corriente de 0 a 20 mA o la señal normalizada de corriente que es de 4 a 20 mA a un valor de voltaje ajustable entre 0 a 10V, estos valores de voltaje se hacen a través de la configuración de dos puentes entre 4 pines, los cuatro rangos de voltaje de salida son: 0 a 2.5V, 0 a 3.3V, 0 a 5V y 0 a 10V.

Figura 26. **Circuito conversión de corriente a voltaje**



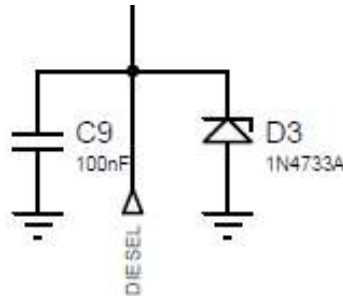
Fuente: elaboración propia, realizado con *software* Proteus.

Este módulo en la salida tiene un capacitor para darle estabilidad a la señal de salida y un diodo Zener 1N4733A por si llegase a desconectarse un puente y se configure erróneamente a una salida de 0 a 10V el módulo y evitar que sufra algún daño el pin del Arduino, la salida del módulo va a un pin análogo del Arduino Nano.

2.1.3.3. **Sensor de nivel de combustible**

En la fase de investigación se especifica que el sensor GLTV7 tiene una señal entre 0 a 5V, esta señal no hay que modificarla, por estar dentro del rango que soporta la entrada análoga del Arduino Nano, solo se coloca un diodo Zener 1N4733A por protección al pin del Arduino y el capacitor para darle estabilidad a la señal.

Figura 27. **Circuito de nivel de combustible**



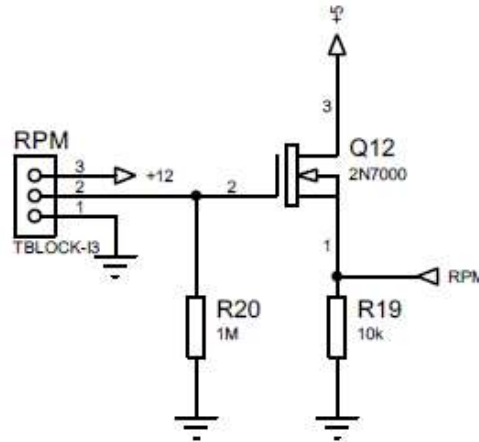
Fuente: elaboración propia, realizado con *software* Proteus.

2.1.4. **Señal de RPM del alternador**

El tacómetro de la máquina alzadora utiliza, para medir la velocidad de giro del motor, la terminal W del alternador que entrega una señal de pulsos cuadrados que varía su periodo dependiendo de la velocidad. Esta señal en las mediciones que se realizaron tenía un voltaje RMS entre 10V a 10.5V y un voltaje pico entre 14V a 15V.

Al ser una señal de pulsos cuadrados tiene 2 posibles estados con voltajes de 0V y 14V aproximadamente, por esta razón se utilizó un MOSFET en sus regiones de corte y saturación, logrando que cuando tenga el estado en alto con un voltaje de 14V, el pin del Arduino pueda leer 5V; el circuito se observa en la figura 28.

Figura 28. **Circuito RPM del alternador**



Fuente: elaboración propia, realizado con *software* Proteus.

Cuenta con una resistencia *pull down* en el *gate* del MOSFET para darle un estado lógico y la salida siempre sería en el *source* del MOSFET.

2.2. Código de programación del microcontrolador Arduino Nano

Para lograr procesar los datos de las lecturas de los circuitos anteriores y determinar las variables de combustible, RPM, carga y si se realizó una uñada, se utilizó el microcontrolador Arduino Nano, este, también se encarga de enviar por tramas los datos de las lecturas anteriores.

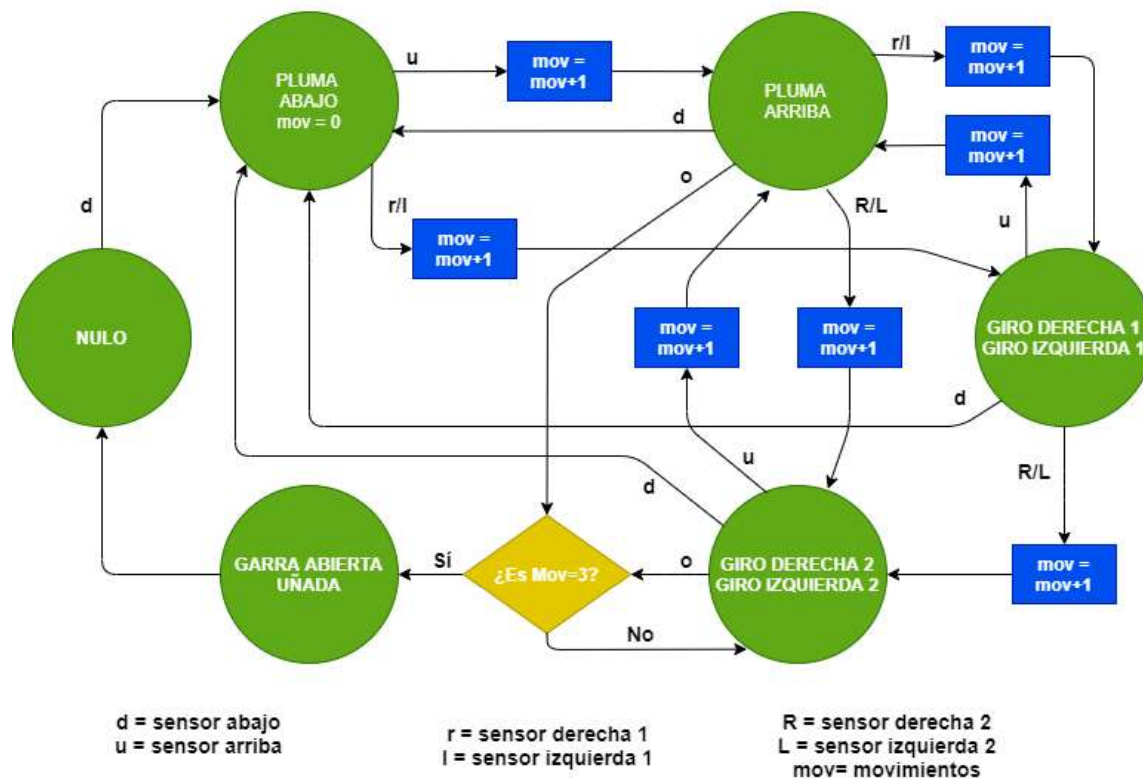
2.2.1. Detección de uñada

En el numeral 1.5 que corresponde al algoritmo para la detección del alce de la caña de azúcar con alzadora de caña SP 2254 John Deere, de la fase de investigación, se describió la serie de pasos que realizan los operadores de la máquina alzadora para completar una uñada, se nota que es una tarea repetitiva, por eso se tomó la decisión de utilizar una máquina de estados finitos. Los estados son las posiciones donde se encuentra la pluma de la máquina alzadora,

y la lectura de los sensores que detectan los movimientos serían las entradas que determinan la transición entre estados.

Figura 29. Máquina de estados

MAQUINA DE ESTADOS ALZADORA 2254

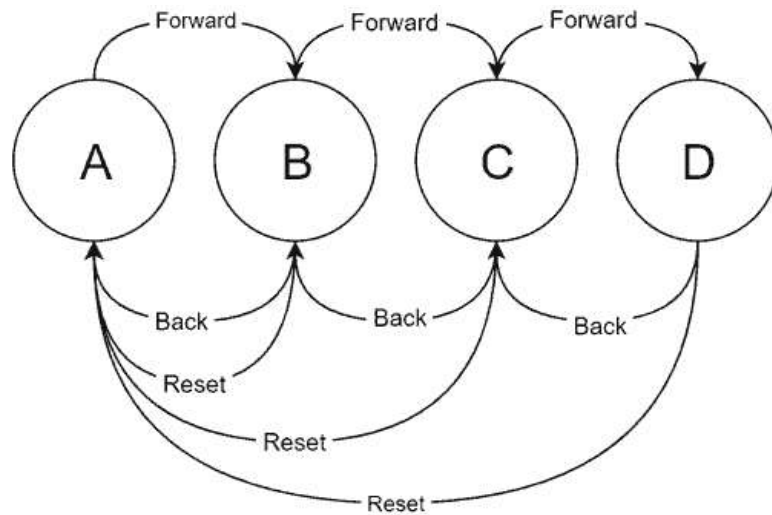


Fuente: elaboración propia, realizado con draw.io.

A la máquina de estados se le añadió una condición, por la posibilidad que algún operador gire y suba simultáneamente la pluma, lo cual podría incidir en lecturas erróneas de uñadas completadas; la condición es que realice 3 movimientos después de estar en el estado de pluma abajo, que en las 3 posibles formas de llegar a completar una uñada son 3 movimientos los que se realizan en las 3 posibilidades.

Para el código de programación de esta máquina de estados se utilizó la librería StateMachineLib.h; Luis Llamas, autor de la librería, ejemplifica una máquina de estados sencilla donde se tiene tres posibles entradas o transiciones, *forward*, *backward* y *reset*.

Figura 30. **Máquina de 4 estados y 3 posibles entradas**



Fuente: Llamas, L. (2018). *Implementar una máquina de estados finitos en Arduino*.

Consultado el 3 de agosto 2021. Recuperado de <https://www.luisllamas.es/maquina-de-estados-finitos-arduino/>.

Se observa que la máquina de estados definida para la detección de uñada no hace transiciones al estado próximo (*forward*), sino que se mueve entre estados independiente de la cercanía, para esto la librería ofrece una función que se utiliza dentro de las condiciones que se colocan en código para estas transiciones.

Lo primero que hay que definir son los posibles estados y entradas: al visualizar la máquina de estado para la detección de uñada, se puede notar que son 6 posibles estados, estado nulo, que la pluma esté abajo, que la pluma esté

arriba, primer giro, segundo giro y garra abierta/uñada y 4 posibles entradas, las 3 de la máquina sencilla (*forward*, *backward*, *reset*) y una entrada *unknown*.

Luego se debe definir la cantidad de estados y las posibles transiciones entre ellos; al observar la figura de la máquina de 4 estados 3 entradas, tiene 9 posibles transiciones, se define que las transiciones posibles serían igual a $3*(n-1)$, siendo n la cantidad de estados: la máquina es de 6 estados, quedarían 15 posibles transiciones.

Después se configuran las acciones que debe hacer al entrar y salir de un estado.

En la función *void setup* () se debe iniciar la máquina de estados y establecer el estado con el cual se va iniciar, y en la función *void loop* () se debe actualizar la máquina de estados a través del método *stateMachine.Update()*.

2.2.1.1. Movimientos

Para detectar los movimientos y que estos realicen las transiciones válidas entre los estados, se utiliza la función *readinput* (), que inicializa la variable *input* en el método *void loop()*; luego ya se llama al método para actualizar la máquina de estados. Dentro de la función *readInput* () están las condiciones para detectar una transición.

2.2.1.1.1. Pluma abajo

Para saber si está en el estado de pluma abajo, primero se lee el dato enviado por el sensor de efecto Hall, dedicado a este movimiento, para determinar si detecto el imán y ver de qué estado proviene; ya que si viene del

estado nulo, se utiliza una variable global que ofrece la librería, que es `currentInput`, la cual almacena la última entrada recibida, en este caso la entrada sería *forward* para que pase al siguiente estado que es el estado de pluma abajo; y si proviene de los tres estados posibles (pluma arriba, giro 1 y giro 2) se utiliza la función `stateMachine.SetState` para actualizar el estado, cuando no se puede utilizar *forward* o *backward*.

Ya cambiado al estado de pluma abajo, se le da el valor a la variable del sensor detectado, que se envía en la trama de movimientos (en una sección posterior se detallan los diferentes tipos de tramas que se envían), este valor es un caracter d, se activa el envío de esta trama y empieza el conteo del tiempo para que esta se enviada un segundo después de su detección. Si viene del estado nulo se incrementa en uno la variable `mov`, para evitar errores en la detección de la uñada como se detalló al principio de esta sección.

2.2.1.1.2. Pluma arriba

Al igual que el procedimiento de pluma abajo (antes citado) para verificar si está en el estado de pluma arriba, comprobar que el sensor de efecto Hall designado a este movimiento, detectó el imán y del estado que provenga. En el caso que venga del estado de pluma abajo se utiliza la variable global `currentInput` y la entrada sería *forward*; los otros dos estados posibles de donde puede haber una transición hacia este estado son de giro 1 y giro 2, y en estos casos se utiliza la función `stateMachine.SetState` para actualizar que se está en el estado pluma arriba.

Ya cambiado al estado pluma arriba, el valor que se le asigna a la variable del sensor detectado es el caracter u, se activa el envío de la trama y empieza el

conteo del tiempo para que esta sea enviada un segundo después de su detección. En cada una de las transiciones se incrementa en uno la variable mov.

2.2.1.1.3. Giro a la derecha

En este caso el giro está dividido en dos estados y dos lecturas de sensores, entonces lo primero que se debe saber es si el primer sensor de efecto Hall ya detectó al imán y el estado del cual proviene. En el caso que provenga del estado de pluma arriba se utiliza la variable global `currentInput` y la entrada sería *forward*; el otro posible estado del cual puede venir es pluma abajo y en este caso se utiliza la función `stateMachine.SetState` para actualizar al giro 1.

Tras haber actualizado al estado de giro 1, el valor que se le asigna a la variable del sensor detectado es el caracter `r`, se activa el envío de la trama y empieza el conteo del tiempo para que esta sea enviada un segundo después de su detección. En este caso de los dos estados que puede venir la transición, se incrementa en uno la variable mov.

Para cambiar al segundo estado, lo primero que se debe saber es si el segundo sensor de efecto Hall designado a este movimiento, detectó el imán y el estado del cual proviene. En el caso que provenga del estado de giro 1 se utiliza la variable global `currentInput` y la entrada sería *forward*; el otro posible estado del cual puede venir es pluma arriba y en este caso se utiliza la función `stateMachine.SetState` para actualizar al giro 2.

Tras actualizar al estado de giro 2, el valor que se le asigna a la variable del sensor detectado es el caracter `R`, se activa el envío de la trama y empieza el conteo del tiempo para que esta sea enviada un segundo después de su detección. En ambas transiciones se incrementa en uno la variable mov.

2.2.1.1.4. Giro a la izquierda

Igual que en el giro a la derecha, debe de provenir de los mismos estados, la única diferencia es quien activa el ingreso, si se detecta el primer sensor dedicado a este movimiento, se hace la transición hacia el estado giro 1; en este caso el caracter que se le asigna a la variable del sensor detectado es I. Y cuando se detecte el segundo sensor para cambiar el estado a giro 2, se le asigna el caracter L a la variable del sensor detectado e igual se incrementa en uno la variable mov.

2.2.1.1.5. Garra abierta

Este es el último estado para saber si se completó una uñada, y como en los demás casos, para saber si está en este estado, se debe detectar si el sensor de presión se ha accionado, de qué estado viene la transición y si la variable mov es igual a 3. Puede venir de los estados pluma arriba y giro 2, y en ambos estados se utiliza la variable global *currentInput* y la entrada sería *forward*.

A la variable del sensor detectado se le asigna el caracter o, se activa el envío de la trama y empieza el conteo del tiempo para que esta sea enviada un segundo después de su detección.

El estado de garra abierta activa el envío de la trama de uñada que es enviada 2,3 segundos después de haberse accionado el sensor. Al finalizar la trama se utiliza la variable global *currentInput* y la entrada sería *reset*, para volver al estado nulo y así volver a iniciar la recepción de movimientos para una uñada nueva.

2.2.2. Lectura de nivel de combustible

El sensor GLTV7 entrega un voltaje entre 0 a 5V dependiendo el nivel de combustible, por ser un voltaje variable el que se va a leer, se utiliza el pin análogo A0 y una variable de tipo flotante, para representar el valor leído en el pin análogo, en un valor de galones.

En la función void loop(), se actualiza la medición de la variable de nivel de diésel. Esta medición y otras más se realizan en la función void mediciones variables()).

Al ser el tanque un prisma rectangular recto (rectángulo en 3D), el volumen de este sería el máximo de combustible en el tanque; y el volumen de un prisma rectangular es igual a la longitud por el ancho por la altura.

La fórmula para encontrar la relación de voltaje y nivel de combustible es la siguiente:

$$Dieél = (((valordiésel * H_{sensor})/1023) + H_{tanque-Hsensor}) * L * W * 0.000264$$

Donde el valor diésel es la variable asignada a la lectura del pin análogo, H_{sensor} es la altura del sensor, $H_{tanque-Hsensor}$ es el resto de la altura que no cubre el sensor, L es el largo del tanque, W es el ancho del tanque, todas las medidas de las dimensiones del tanque están en cm, y el 0.000264 es la constante para convertir de cm^3 a galones. Las dimensiones del tanque son: altura de 90 cm, largo de 87.5 cm y el ancho de 39.5 cm, la altura del sensor GLTV7 que tienen en el Ingenio Magdalena S. A. es de 70 cm; sin embargo, al momento de colocarlo, se observó que derivado del grosor de la lámina superior se le resta 1 cm; como el sensor no cubre la altura interna del tanque, se debe sumar el

resultado de la diferencia entre la altura interna del tanque y la altura que cubre el sensor GLTV7, quedando la fórmula de la siguiente manera.

$$Diésel = (((valordiésel * 69)/1023) + 21) * 87.5 * 39.5 * 0.000264$$

Este valor es enviado en la trama de telemetría.

2.2.3. Lectura de nivel de carga de la batería

El divisor de tensión entregará de 0 a 5 V, siendo 5 V en la salida del divisor igual a 16V de la batería, por ser un voltaje variable, se utiliza el pin análogo A4 y una variable de tipo flotante, para representar el valor leído en el pin análogo en un valor de voltaje. Por ser un valor lineal se puede representar como una simple regla de 3, así:

$$carga = (valorcarga * 16/1023)$$

Donde carga es la variable que almacenará el valor de la carga de la batería y valorcarga es la variable que almacenará el valor del voltaje que entra al pin análogo que viene del divisor, 16 es el voltaje máximo establecido anteriormente y 1023 es el máximo de la resolución del pin análogo.

Este valor tiene un margen de error que depende del valor de tolerancia de la resistencia. Para calcular la incerteza del divisor de tensión, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\Delta V_{R_2} = \left(\frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_2 + \Delta R_1}{R_2 + R_1} \right) * \left(\frac{V * R_2}{R_2 + R_1} \right)$$

Al ingresar el valor máximo de voltaje que puede ser V , que es 16 V, se obtiene una incerteza máxima de 0.5V si ambas resistencias tienen tolerancia del 5 %, y para resistencias con tolerancia del 10 % aumenta a 1V. Pero esta incerteza tiene una proporción de 3.2 con el valor de la carga de la batería, así esta incerteza máxima aumenta a 1.6 V para resistencia con tolerancia del 5 % y 3.2 V para resistencia con tolerancia del 10 %. Con la posibilidad de que el dato de la carga de la batería tenga estas incertezas, se debe realizar una comparativa del valor que se muestra de la lectura y el valor real del voltaje de la fuente. Si está alejado de su valor real se puede utilizar una función lineal. La relación lineal sería entre el valor que lee el pin análogo y el voltaje que tiene la fuente de voltaje en ese momento. Aplicando la función lineal $y = ax + b$, siendo la variable dependiente (y) el voltaje de la fuente, y la variable independiente(x) el valor de que lee el pin análogo.

A manera de ejemplificar, se presenta uno de los casos, en él se aplicó una relación lineal para la lectura del nivel de carga de la batería; en este caso se utilizó el *software* Qtiplot para hallar la relación lineal del conjunto de datos obtenidos de las medidas realizadas.

Tabla VII. **Valores de la lectura del pin análogo (x) y del voltaje de la fuente (y)**

| Valor de lectura del pin análogo (x) | Valor de la fuente (y) |
|--------------------------------------|------------------------|
| 673 | 11.5V |
| 698 | 12V |
| 721 | 12.5V |
| 744 | 13V |
| 784 | 14V |

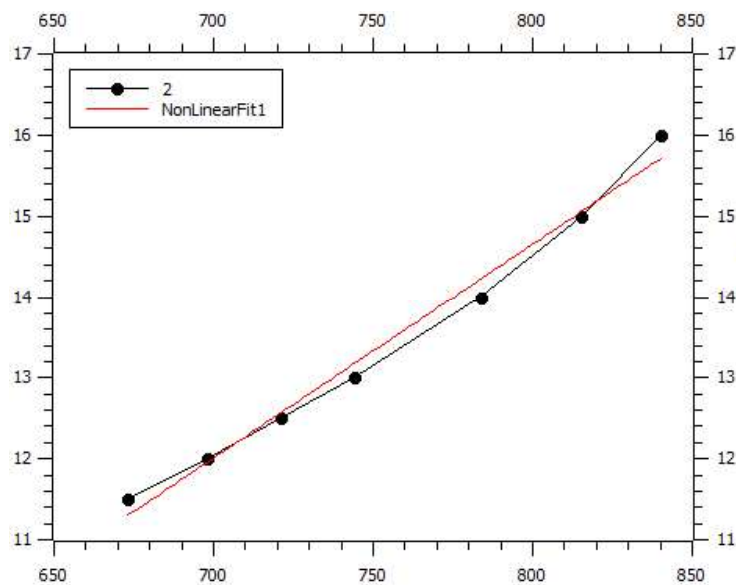
Continuación tabla VII.

| | |
|-----|-----|
| 815 | 15V |
| 840 | 16V |

Fuente: elaboración propia.

Con los datos obtenidos, se debe hacer el análisis lineal con Qtiplot, este da el análisis en forma gráfica, para visualizar la desviación que puede existir y los valores de las constantes a y b, en la figura 31 se observa.

Figura 31. **Gráfica de relación lineal de nivel de carga de la batería**



Fuente: elaboración propia, realizado con software Qtiplot.

El *software* arroja que a debe valer 2.6429 y b debe valer -6.48 para que exista una relación lineal entre ambas variables. La ecuación quedaría de la siguiente manera:

$$carga = 2.6429 * valorcarga - 6.48$$

Este valor es enviado en la trama de telemetría.

2.2.4. Lectura de las revoluciones por minuto

La medición de las revoluciones por minuto se realiza a través de una de las interrupciones del *hardware* que tiene Arduino, estas responden a eventos ocurridos en ciertos pines físicos. El Arduino Nano cuenta con 2 pines digitales que tienen esta característica.

Las interrupciones de *hardware* de Arduino se pueden detectar de los siguientes modos:

- *Rising*: sucede en el flanco de subida de *low* a *high*
- *Falling*: sucede en el flanco de bajada de *high* a *low*
- *Change*: sucede cuando el pin cambia de estado (*rising* + *falling*)
- *Low*: se ejecuta continuamente mientras está en estado *low*

Se utiliza la función ISR (*interrupt service routines*) y se define como una función que no recibe nada y no entrega nada.

Para definir una interrupción en Arduino, se utiliza la función `attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin), ISR, mode)`, donde `digitalPinToInterrupt(pin)` convierte un pin a la interrupción equivalente, es quien activa la interrupción, `ISR` es la función de *callback* asociada, y `mode` es el modo en el que se van a detectar las interrupciones (*rising*, *falling*, *change* y *low*).

La función ISR debe ser corta, ya que mientras se esté ejecutando, el bucle principal como las demás funciones, estas quedan detenidas; lo cual puede tener efecto sobre el tiempo, asimismo afectar tiempos medidos con funciones de

tiempo como `millis()` y `delay()`. Las variables que se utilicen dentro de la ISR se deben declarar de tipo volátil.

Como la señal viene del alternador, calcular la relación de esta señal con las revoluciones por minuto del cigüeñal de la máquina alzadora, depende mucho del alternador instalado en la máquina alzadora, ya que estos pueden ser modificados en alguna reparación que se realice a la máquina alzadora, por ende, debe calibrarse para que la medida que se obtenga sea lo más exacta a las revoluciones por minuto que tenga el cigüeñal.

Aquí se aplicó, también una función lineal para encontrar una relación entre las pulsaciones que se leen del alternador y las revoluciones por minuto que se toman desde el cigüeñal.

Para tomar los datos de las 2 variables, es necesario se haga con la participación de 2 personas; para que una de ellas, desde dentro de la cabina de la máquina alzadora efectúe la lectura de los datos de la variable que arroja el microcontrolador de la tarjeta electrónica; y la otra, desde fuera de la cabina lea las revoluciones por minuto del cigüeñal. La lectura que se hace desde el microcontrolador es un contador, cada vez que ingrese a la función ISR por medio del pin que lee la interrupción se le suma un uno al contador, se deja pasar un segundo y muestra cuantas interrupciones hubo durante ese segundo; este dato, si la relación fuera 1:1, se podría multiplicar por 60 (un minuto tiene 60 segundos) y dará el valor de las revoluciones por minuto. Para la lectura de las revoluciones por minuto del cigüeñal se utiliza un tacómetro digital, el cual funciona por medio de un sensor infrarrojo, al cigüeñal se le coloca un pequeño trozo de cinta reflectiva y el tacómetro digital debe ser dirigido hacia el trozo de la cinta para que refleje el infrarrojo y detecte las veces que completa una vuelta.

Seguidamente, procede ir cambiando las revoluciones por minuto de la máquina alzadora e ir tomando los 2 valores de la medida para hacer la tabla de datos y así, realizar la relación lineal. Aplicando la función lineal $y = ax + b$, siendo la variable dependiente (y) el valor medido por el tacómetro digital, y la variable independiente (x) el valor de la variable del contador que se encuentra en la función ISR. Los datos tomados se presentan en la tabla VIII.

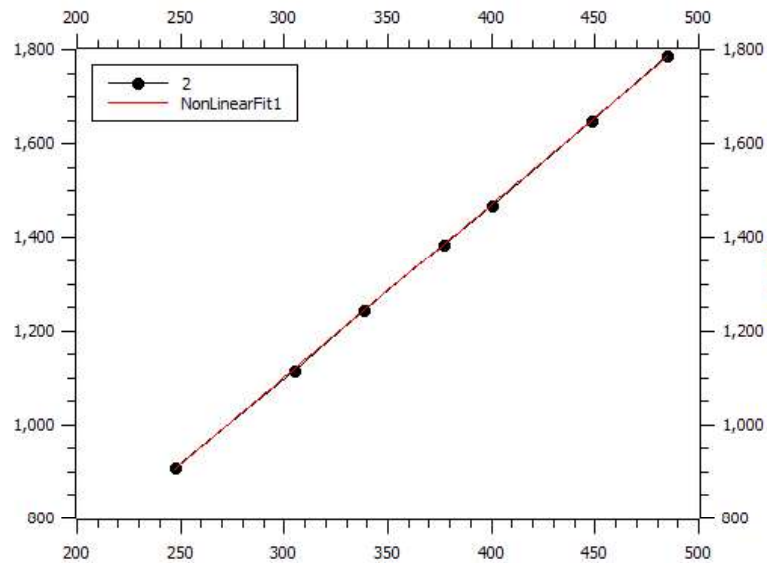
Tabla VIII. **Valores del contador de la función ISR (x) y del tacómetro digital (y)**

| Valor de la variable del contador (x) | Valor del tacómetro digital (y) |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| 247 | 910 |
| 305 | 1,116 |
| 338 | 1,243 |
| 377 | 1,384 |
| 400 | 1,469 |
| 448 | 1,650 |
| 485 | 1,788 |

Fuente: elaboración propia.

Luego se debe hacer el análisis con el programa Qtiplot, para encontrar los valores de a y b en la lectura del nivel de carga de la batería.

Figura 32. **Gráfica de relación lineal revoluciones por minuto**



Fuente: elaboración propia, realizado con *software* Qtiplot.

El *software* arroja que a debe valer 3.6969 y b debe valer -7.42 para que exista una relación lineal entre ambas variables. La ecuación queda así:

$$\text{rpm} = 3.6969 * \text{contadorRev} - 7.42$$

Donde rpm es la variable en la que se almacena el valor de las revoluciones por minuto; contadorRev es la variable que se utiliza para contar cuantas veces ingresa a la función ISR durante un segundo.

2.2.5. **Detalle de la comunicación serial**

Para lograr la culminación del proyecto, se contó con la participación de otras áreas y personal, por ejemplo, el equipo técnico-profesional de Automatización Agrícola del Ingenio Magdalena, S. A. efectuaron el horómetro

digital, este proyecto contiene el envío de los datos a la aplicación móvil. La aplicación móvil la llevó a cabo el Área de Tecnología de la Información.

Lo que derivó en establecer las bases del protocolo a seguir en la comunicación en los equipos electrónicos.

En los numerales 2.2.5.1, 2.2.5.2 y 2.2.5.3, se describió el detalle de la comunicación del envío de los datos, desde el sistema transductor del alce hacia el equipo del horómetro digital, estos datos se transmiten de manera serial, así como la comunicación entre el equipo del horómetro digital hacia la aplicación móvil, Estos datos se transmiten por medio de *bluetooth*; esta comunicación puede ayudar a comprender de mejor manera, la forma de cómo se reciben los datos en la aplicación móvil. Datos que serán de suma importancia para el Ingenio Magdalena, S. A., en el análisis y estudio de la productividad.

Es importante agregar que, esta comunicación a la referida anteriormente no forma parte de la programación del Arduino Nano.

El formato con el que se envían las tramas es separado por comas con un carácter inicial que indica qué tipo de trama se está enviando (telemetría, uñadas, movimientos), seguido de la información con la estructura que a continuación se presenta.

2.2.5.1. Trama de telemetría

Esta trama contiene la información de las lecturas de las variables de la máquina alzadora: (RPM, combustible, nivel de carga de la batería). Esta trama se transmite cada cierto periodo de tiempo fijo, este tiempo es configurable. El identificador de esta trama es una T.

La estructura de los datos que se envía de manera serial, se muestra en las tablas IX y X.

Tabla IX. **Estructura de la trama de telemetría**

| Identificador trama | RP M | Galones diésel | Carga batería | Libre 1 | Libre 2 | Identificador de final |
|---------------------|------|----------------|---------------|---------|---------|------------------------|
|---------------------|------|----------------|---------------|---------|---------|------------------------|

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Ejemplo trama de telemetría**

| Identificador trama | RPM | Galones diésel | Carga batería | Libre 1 | Libre 2 | Identificador de final |
|---------------------|------|----------------|---------------|---------|---------|------------------------|
| T | 1800 | 230 | 12.5 | 0 | 0 | # |

Fuente: elaboración propia.

Los espacios libres se dejaron por si se desea medir otra variable de interés de la máquina alzadora, por ejemplo, la temperatura o la presión del aceite, asimismo, en la tarjeta electrónica quedaron pines análogos disponibles para agregar alguna de las variables que aún no se han medido.

La trama que va hacia la aplicación por medio de *bluetooth*, se describe en las tablas XI y XII.

Tabla XI. **Trama de telemetría que va hacia la aplicación móvil**

| Identificador trama | RPM | Galones diésel | Horómetro | Carga batería | Libre 1 |
|---------------------|-----|----------------|-----------|---------------|---------|
|---------------------|-----|----------------|-----------|---------------|---------|

| Libre 2 | Latitud | Longitud | Identificador de final |
|---------|---------|----------|------------------------|
|---------|---------|----------|------------------------|

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Ejemplo de la trama de telemetría que va hacia la aplicación móvil**

| Identificador trama | RPM | Galones diésel | Horómetro | Carga batería | Libre 1 |
|---------------------|------|----------------|-----------|---------------|---------|
| T | 1800 | 230 | 12.5 | 12.5 | 0 |

| Libre 2 | Latitud | Longitud | Identificador de final |
|---------|-----------|-----------|------------------------|
| 0 | 14.122932 | -90.94379 | # |

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, en el equipo electrónico del horómetro digital, se agrega el registro de horas, la latitud y longitud de la posición de la alzada cuando se envía esta trama.

2.2.5.2. Trama de uñadas

El equipo electrónico envía esta trama, si se da el evento: detección de uñada. Contiene una bandera que indica que se detectó una uñada y el acumulado de uñadas completadas. El identificador de esta trama es una U.

La estructura de los datos que se envía de manera serial, se describe en las tablas XIII y XIV.

Tabla XIII. **Estructura de la trama de uñadas**

| Identificador trama | Uñada detectada | Acumulado | Identificador de final |
|---------------------|-----------------|-----------|------------------------|
|---------------------|-----------------|-----------|------------------------|

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Ejemplo de la trama de uñadas**

| Identificador trama | Uñada detectada | Acumulado | Identificador de final |
|---------------------|-----------------|-----------|------------------------|
| U | 1 | 25 | # |

Fuente: elaboración propia.

La trama que va hacia la aplicación por medio de *bluetooth*, se muestra en la tabla XV.

Tabla XV. **Trama de uñadas que va hacia la aplicación móvil**

| Identificador trama | Uñada detectada | Acumulado | Latitud | Longitud | Identificador de final |
|---------------------|-----------------|-----------|---------|----------|------------------------|
|---------------------|-----------------|-----------|---------|----------|------------------------|

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Ejemplo de la trama de uñadas que va hacia la aplicación móvil**

| Identificador trama | Uñada detectada | Acumulado | Latitud | Longitud | Identificador de final |
|---------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|------------------------|
| U | 1 | 25 | 14.122932 | -90.94379 | # |

Fuente: elaboración propia.

Esta trama es importante para realizar el estudio de la capacidad productiva del sector donde se está cosechando, ya que agrega la ubicación de donde se realizó la uñada.

2.2.5.3. Trama de movimientos

El equipo electrónico envía esta trama si se da el evento: detección de sensor. Contiene un carácter que representa un sensor colocado en la máquina alzadora. Esta trama puede servir para visualizar en la aplicación los movimientos que está realizando la alzadora. El identificador de esta trama es una M.

La estructura de los datos que se envía de manera serial es la que se muestra en la tabla XVII.

Tabla XVII. **Estructura de la trama de movimientos**

| Identificador trama | Sensor detectado | Identificador de final |
|---------------------|------------------|------------------------|
|---------------------|------------------|------------------------|

Fuente: elaboración propia.

En el campo sensor detectado, se deben colocar los siguientes caracteres que representan los siguientes datos:

- r: detección de giro 1 derecha
- R: detección de giro 2 derecha
- l: detección de giro 1 izquierda
- L: detección de giro 2 izquierda
- d: detección pluma abajo
- u: detección pluma arriba
- o: detección abertura de garra

Tabla XVIII. **Ejemplo de la trama de movimientos**

| Identificador trama | Sensor detectado | Identificador de final |
|---------------------|------------------|------------------------|
| M | B | # |

Fuente: elaboración propia.

La trama que va hacia la aplicación por medio de *bluetooth* es la siguiente:

Tabla XIX. **Trama de movimientos que va hacia la aplicación móvil**

| Identificador trama | Sensor detectado | Latitud | Longitud | Identificador de final |
|---------------------|------------------|---------|----------|------------------------|
|---------------------|------------------|---------|----------|------------------------|

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Ejemplo de trama de movimientos que va hacia la aplicación móvil**

| Identificador trama | Sensor detectado | Latitud | Longitud | Identificador de final |
|---------------------|------------------|-----------|-----------|------------------------|
| M | b | 14.122932 | -90.94379 | # |

Fuente: elaboración propia.

2.3. Ensamblaje de la placa de circuito impreso en una caja

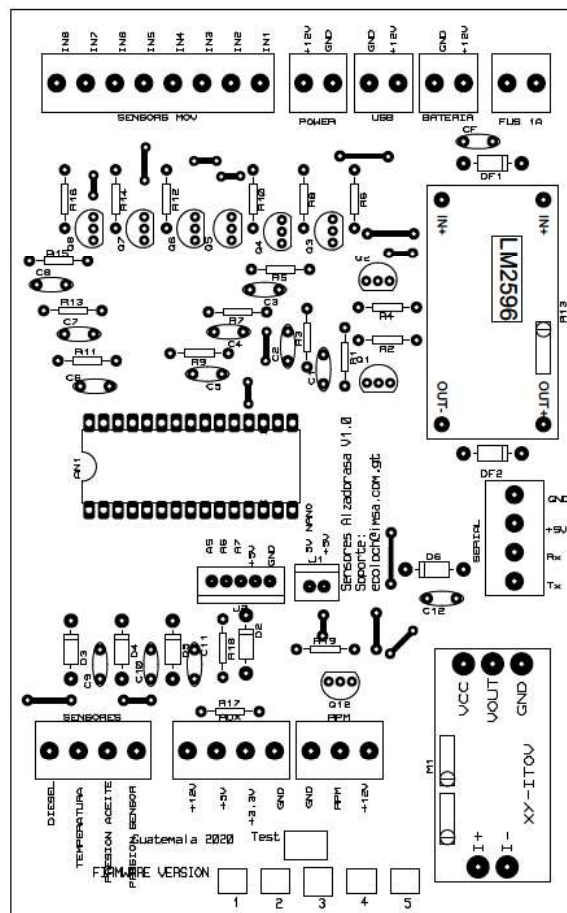
Los circuitos que realizan las lecturas de las variables de instrumentación se ensamblaron en placa de circuito impreso (PCB), posteriormente instalar esta, en una caja, la cual es la que se instaló en las alzadoras de cañas, se detallan dos versiones, una con los circuitos que se desarrollaron en el Ejercicio

Profesional Supervisado y la versión que se desarrolló en conjunto con el equipo técnico-profesional de Automatización Agrícola.

2.3.1. Primera versión

La placa de circuito impreso contiene todos los componentes de los circuitos que se detallaron en el numeral 2.1 diseño de los circuitos de la tarjeta electrónica. La distribución de los componentes en la placa de circuito impreso es el que se visualiza en la figura 33.

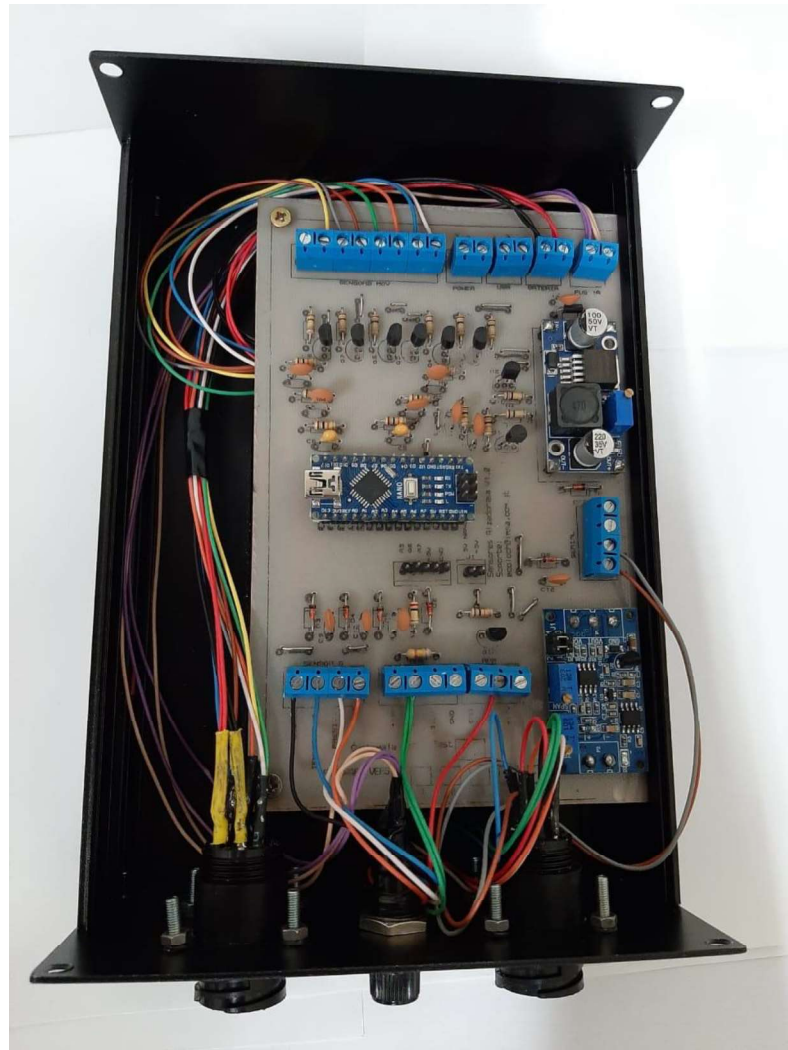
Figura 33. Diseño de la placa de circuito impreso



Fuente: elaboración propia, realizado con *software* Proteus.

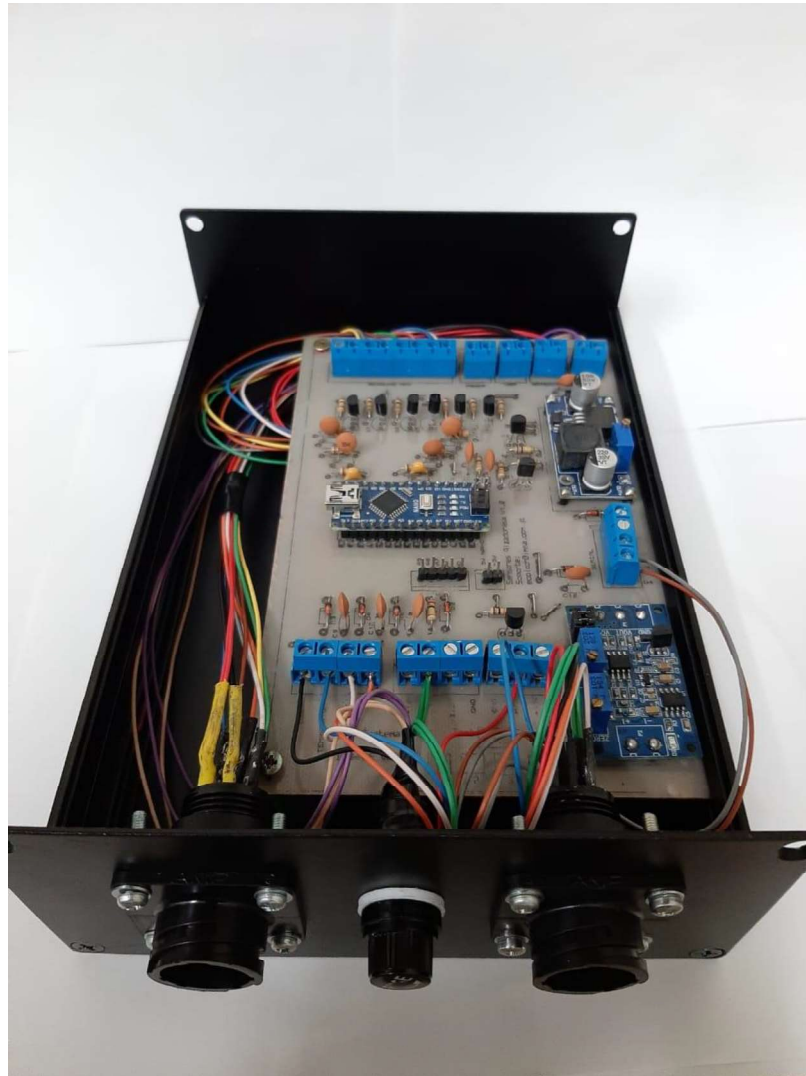
Como medida de seguridad y resguardo de la placa, se utilizó una caja de aluminio, a la caja referida se le instalaron dos conectores en una de las paredes; estos servirán para recibir la alimentación de la batería de la máquina alzada, para comunicarse con el *enclosure* destinado al sistema del horómetro digital y recibir las lecturas de los sensores que se encuentran instalados en la máquina alzada.

Figura 34. ***Enclosure*** de la placa de circuito impreso, vista de planta



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

Figura 35. **Enclosure de la placa de circuito impreso**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

En esta imagen se pueden apreciar los 2 conectores y el portafusibles que están ensamblados en la caja, estos conectores son machos de 9 pines.

Al conector que está al lado izquierdo en la imagen, se le nombró sensores de movimientos y alimentación; y al conector del lado derecho, telemetría y comunicación entre *enclosure*.

A cada pin de los conectores se le designó una función y un color de forro del cable, el detalle se presenta en las tablas XXI y XXII.

Tabla XXI. **Pines del conector sensores de movimientos y alimentación**

| Sensores de movimientos y alimentación | | |
|--|--------------------------------|---------------|
| Pin | Función | Color de hilo |
| 1 | +12V | Rojo |
| 2 | GND | Negro |
| 3 | De efecto Hall d (abajo) | Blanco |
| 4 | De efecto Hall u (arriba) | Azul |
| 5 | De efecto Hall r (derecha 1) | Naranja |
| 6 | De efecto Hall l (izquierda 1) | Verde |
| 7 | De efecto Hall R (derecha 2) | Café |
| 8 | De efecto Hall L (izquierda 2) | Gris |
| 9 | Presostato | Amarillo |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Pines del conector telemetría y comunicación entre cajas**

| Telemetría y comunicación entre cajas | | |
|---------------------------------------|-------------|---------------|
| Pin | Función | Color de hilo |
| 1 | Rpm | Rojo |
| 2 | Diésel | Negro |
| 3 | Aceite | Blanco |
| 4 | Temperatura | Azul |

Continuación de la tabla XXII.

| | | |
|---|---------------------------|----------|
| 5 | Sensor de presión (garra) | Naranja |
| 6 | +5V | Verde |
| 7 | Tx | Café |
| 8 | Rx | Gris |
| 9 | Libre | Amarillo |

Fuente: elaboración propia.

En el conector de sensores de movimientos y alimentación, los pines 1 y 2 se utilizan para alimentar al *enclosure*, del pin 3 al 8 es para recibir la señal que envían los sensores de efecto Hall y el pin 9 es para recibir la señal del presostato. En el otro conector, el pin 1 lee la señal que proviene del alternador, el pin 2 la señal del sensor de diésel, el pin 3 y 4 son las entradas analógicas disponibles por si a futuro se desea medir el aceite y la temperatura de la alzada o alguna otra variable de interés; el pin 5 es para la lectura del sensor de presión, el pin 6 proporciona 5V para que se utilicen en el *enclosure* del horómetro digital, el pin 7 y 8 es para la comunicación serial entre los microcontroladores de ambos *enclosures*.

El *enclosure* del horómetro digital tiene una pantalla LCD para mostrar el registro del horómetro, así como el nombre del sensor que se detectó y si se completó una uñada, se decidió dejar el módulo de 12V a 5V USB en este *enclosure*, para que quedara solo en un *enclosure* la interacción del operador de la máquina alzada con el equipo. Como está en paralelo a la batería de la máquina alzada, se puede tomar este voltaje desde fuera de los *enclosures* y no es necesario dedicar un pin del conector a la alimentación del módulo.

Figura 36. ***Enclosure, perfil frontal***



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

Figura 37. ***Enclosure, perfil posterior***



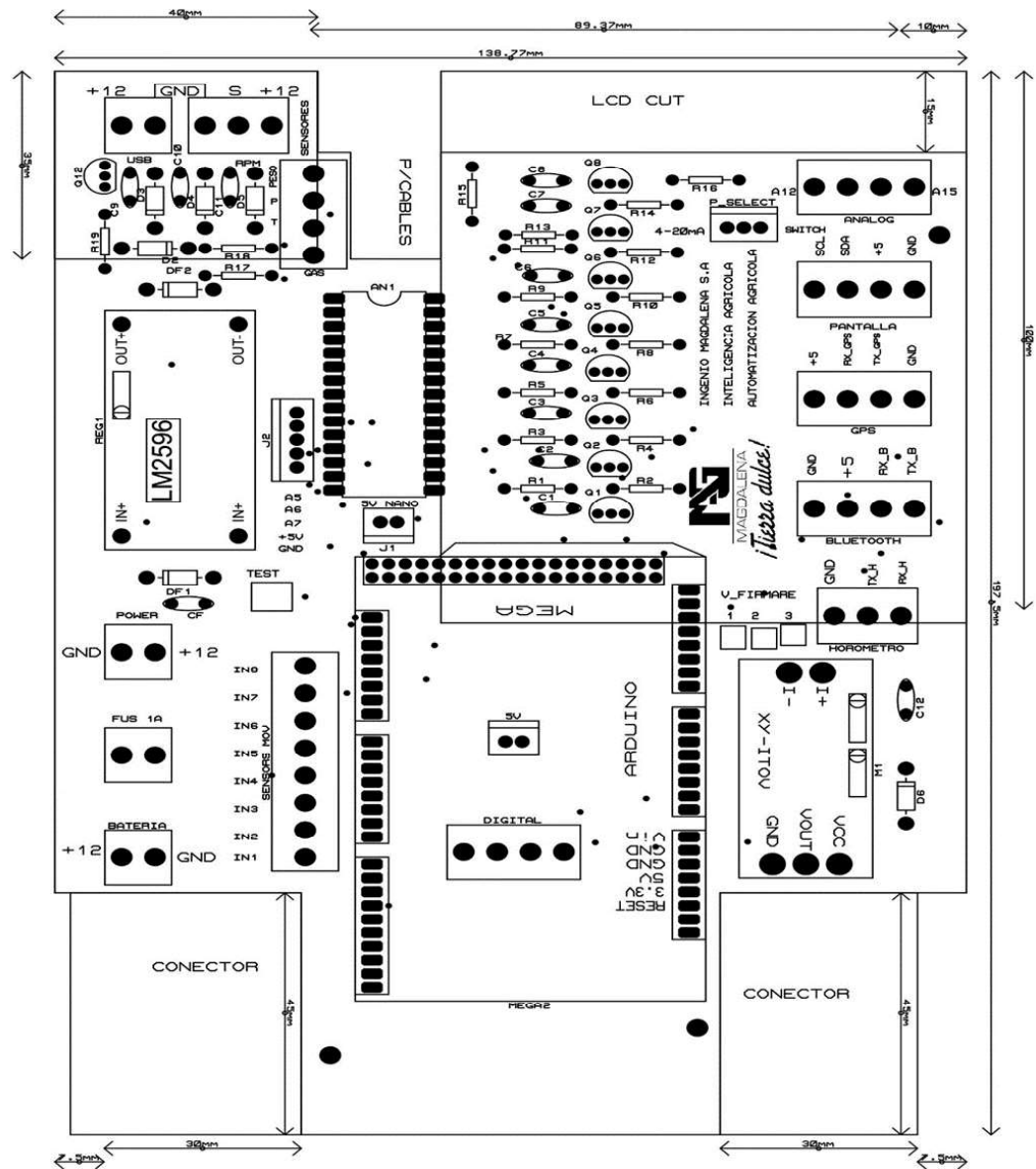
Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

El *enclosure* que está en la parte superior de las figuras 36 y 37 es el del horómetro digital, el cual tiene a la par de la pantalla LCD la entrada del puerto USB, el bulto que sobresale por encima del *enclosure* es la antena del módulo GPS; y el *enclosure* de abajo es el que se destinó para la placa de circuito impreso del sistema transductor del alce de la cosecha manual.

2.3.2. Segunda versión

Para esta versión se trabajó junto al equipo técnico-profesional de Automatización Agrícola para unir los dos circuitos (sistema transductor del alce de la cosecha manual y horómetro digital) en una sola placa de circuito impreso, con el fin de optimizar el espacio en la instalación y disminuir el tener dos *enclosure* a solo uno. El diseño de esta placa contempló las medidas de la caja y el espacio que ocupan los componentes externos a la placa, quedando el diseño como se muestra en la figura 38.

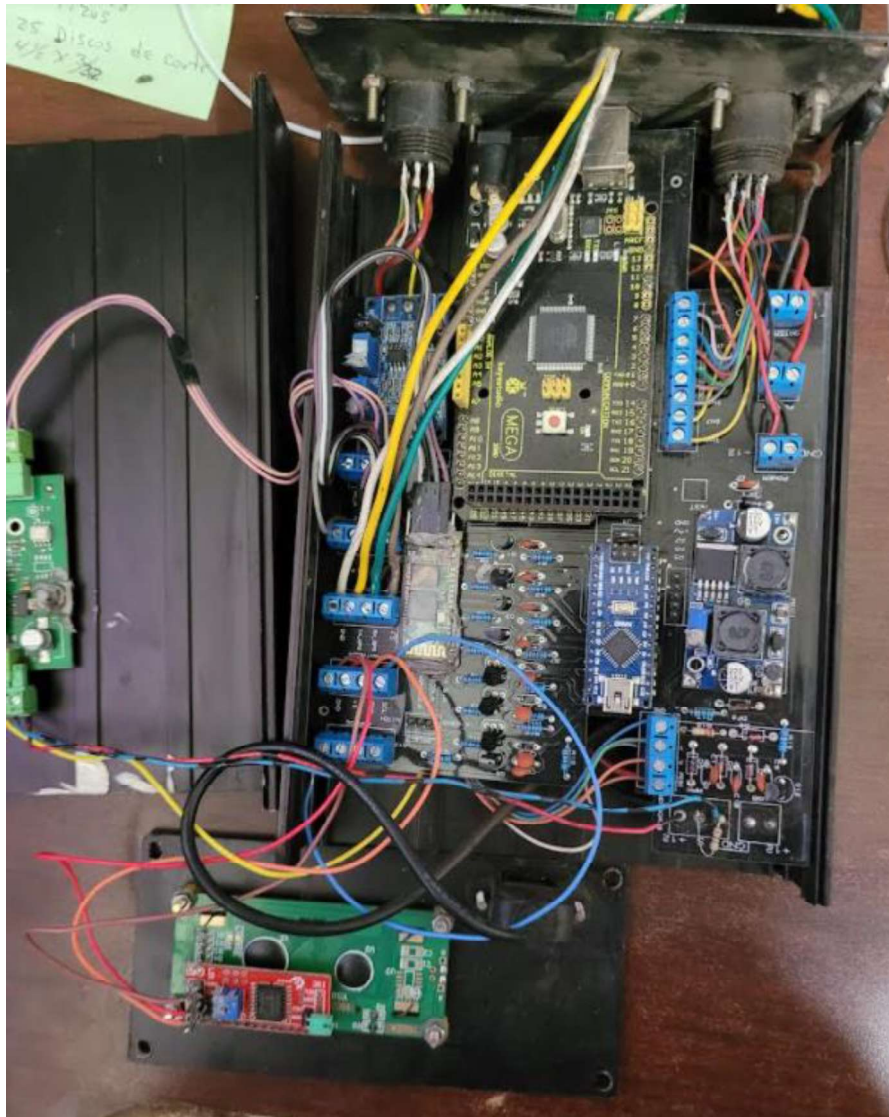
Figura 38. **Diseño de la placa de circuito impreso de ambos sistemas**



Fuente: Ingenio Magdalena S. A., realizado con *software* Proteus.

El ensamblaje del nuevo *enclosure* quedó como se muestra la figura 39.

Figura 39. ***Enclosure segunda versión***



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

Figura 40. **Enclosure segunda versión, perfil frontal**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

Figura 41. **Enclosure segunda versión, perfil posterior**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

Igual se utilizaron 2 conectores, al de la izquierda se le nombró sensor de movimientos y su alimentación; y al conector del lado derecho, telemetría y alimentación *enclosure*. La distribución de la función de cada pin de los 2 conectores circulares es la que se observa en la tabla XXIII.

Tabla XXIII. **Pines del conector sensores de movimiento y su alimentación**

| Sensores de movimiento y su alimentación | | |
|--|--------------------------------|---------------|
| Pin | Función | Color de hilo |
| 1 | +12V sensores | Rojo |
| 2 | GND sensores | Negro |
| 3 | De efecto Hall d (abajo) | Blanco |
| 4 | De efecto Hall u (arriba) | Azul |
| 5 | De efecto Hall r (derecha 1) | Naranja |
| 6 | De efecto Hall l (izquierda 1) | Verde |
| 7 | De efecto Hall R (derecha 2) | Café |
| 8 | De efecto Hall L (izquierda 2) | Gris |
| 9 | Presostato | Amarillo |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Pines del conector telemetría y alimentación *enclosure***

| Telemetría y alimentación <i>enclosure</i> | | |
|--|-------------|---------------|
| Pin | Función | Color de hilo |
| 1 | +12V fuente | Rojo |
| 2 | GND fuente | Negro |
| 3 | RPM | Blanco |

Continuación de la tabla XXIV.

| | | |
|---|---------------------------|----------|
| 4 | Diésel | Azul |
| 5 | Aceite | Naranja |
| 6 | Temperatura | Verde |
| 7 | Sensor de presión (garra) | Café |
| 8 | Horómetro | Gris |
| 9 | Libre | Amarillo |

Fuente: elaboración propia.

En el conector sensores de movimiento y su alimentación, los dos primeros pines son para la alimentación de los sensores, estos pines van hacia una terminal block designado en la tarjeta electrónica, por lo que no debe realizarse un empalme afuera del *enclosure*. Del pin 3 al 9 son los mismos designados en la primera versión. En el conector telemetría y alimentación *enclosure*, en los dos primeros pines ingresa el voltaje para alimentar el *enclosure* del pin 3 al pin 7; son las primeras cinco funciones de la primera versión del *enclosure*. Se corrieron dos posiciones más, porque se agregó desde este conector la alimentación del sistema, el pin 8 es para la señal que viene de un sistema Murphy de presión, que es de donde toman la lectura para que el horómetro empiece a contar las horas que la máquina se encuentra en funcionamiento.

En esta versión se dejó un conector *vanguard* que sirve para comunicarse con el módulo GPS y este quedó en una caja de plástico e instalada a cierta altura de la cabina de la máquina alzadora; como medida de protección (en la imagen de la figura 42, se aprecia encerrado en un círculo rojo). Considerando, que en la primera versión para evitar el efecto de jaula de Faraday, la antena quedó por fuera del *enclosure* con el riesgo de sufrir algún daño físico.

Figura 42. **Instalación del módulo GPS**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

2.4. Instalación en máquina alzadora de caña de azúcar SP 2254 John Deere

Para la instalación de los diferentes dispositivos que conforman el sistema del equipo electrónico, así como garantizar la protección y su funcionamiento, participó un soldador del taller de Magrisa, quien concretó el diseño de las bases de acuerdo con las especificaciones dadas.

2.4.1. Primera versión

Esta versión se utilizó para realizar las pruebas de funcionamiento, y así ver qué inconveniente se podría tener en la lectura de sensores en el exterior, diseño de las bases, entre otras pruebas. El cableado de la cabina estaba diseñado para la primera versión del *enclosure*.

2.4.1.1. Instalación de cable para la alimentación y recepción de señales de sensores

Para hacer las conexiones entre los sensores y los *enclosure* se utilizaron cables calibre 22 AWG de 12 hilos, este calibre soporta hasta 1 amperio; y TSJ 3X16, cuyo calibre soporta hasta 10 amperios, se utilizaron por ser los que más se adecuaban, de los disponibles en bodega del Ingenio Magdalena S. A.

Para el cableado que alimenta y transporta la señal de los sensores de efecto Hall se utilizó el de calibre 22 AWG de 12 hilos, ya que los sensores efecto Hall tienen un consumo inferior a los 200 mA, al ser 6 sensores de efecto Hall los hilos designados para llevar la alimentación deben ser capaces de suministrar 1.2A, como el cable tiene 12 hilos, se designaron varios colores para la alimentación y así distribuir la carga, a efecto de que soporten la corriente que demandan los sensores.

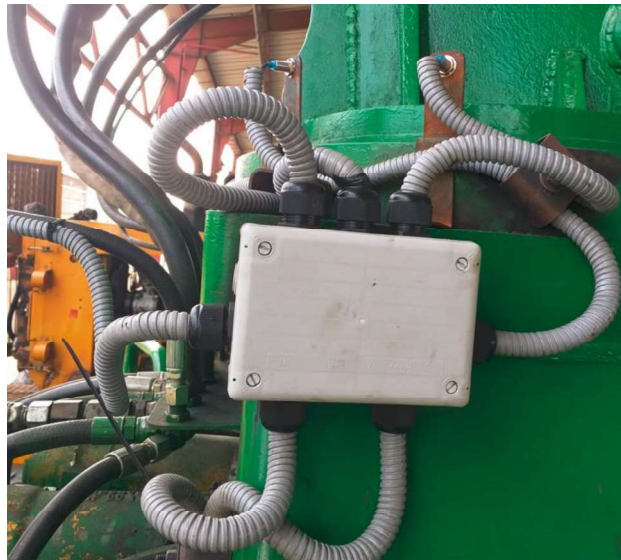
Tabla XXV. Cableado de los sensores de efecto Hall

| Cableado sensores de efecto Hall | |
|----------------------------------|-------------------|
| Función | Color de hilo |
| +12V | Rojo, rosado |
| GND | Negro, verde |
| De efecto Hall d (abajo) | Blanco |
| De efecto Hall u (arriba) | Azul |
| De efecto Hall r (derecha 1) | Naranja |
| De efecto Hall l (izquierda 1) | Verde oscuro |
| De efecto Hall R (derecha 2) | Café |
| De efecto Hall L (izquierda 2) | Gris |
| Libre | Amarillo, violeta |

Fuente: elaboración propia.

Se colocó una caja de conexiones, dentro de esta caja fueron ingresados los cables de los sensores de efecto Hall y el cable de doce hilos, y a estos cables se les colocó un conector *vanguard* para que puedan ser cambiados de forma sencilla, en el caso que falle algún sensor, en la imagen de la figura 43 se visualiza el resultado:

Figura 43. **Caja de conexiones de los sensores de efecto Hall**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

El sensor cuenta con tres cables:

- Azul: negativo
- Café: positivo +12
- Negro: señal

En el conector *vanguard* los cables se identifican así:

- Amarillo: señal (negro)
- Café: positivo +12 (café)
- Verde: negativo (azul)

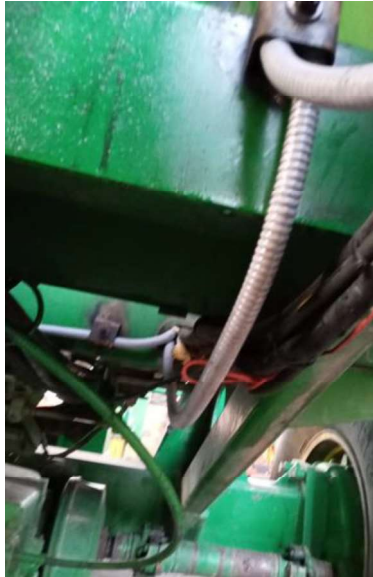
Al estar los sensores con conectores *vanguard*, las señales que salen del cable amarillo de cada conector, se conectan al cable de 12 hilos con su respectivo color, como se indica en la tabla, se protege el cable con tubo flexible para evitar daños; el cable es transportado hacia la cabina y en ella ya se realizan las conexiones para colocar cada hilo en los conectores circulares hembra; según la tabla que se estableció para el enclosure, como se puede apreciar en las siguientes imágenes (figuras 44 y 45).

Figura 44. **Cableado de los sensores de efecto Hall hacia la cabina**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

Figura 45. **Cableado de los sensores de efecto Hall hacia la cabina**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

Para la lectura y alimentación del sensor de combustible se utiliza el cable TSJ 3X16, por necesitar únicamente 3 cables; entre los 3 cables del sensor y los 3 del cable TSJ se utiliza un conector *vanguard*, en el caso necesario de cambiar el sensor, se pueda realizar de forma sencilla. Este se transporta directamente hacia la cabina.

El sensor cuenta con tres cables:

- Negro: negativo
- Rojo: positivo +12
- Azul: señal

En el conector *vanguard*, los cables son los siguientes:

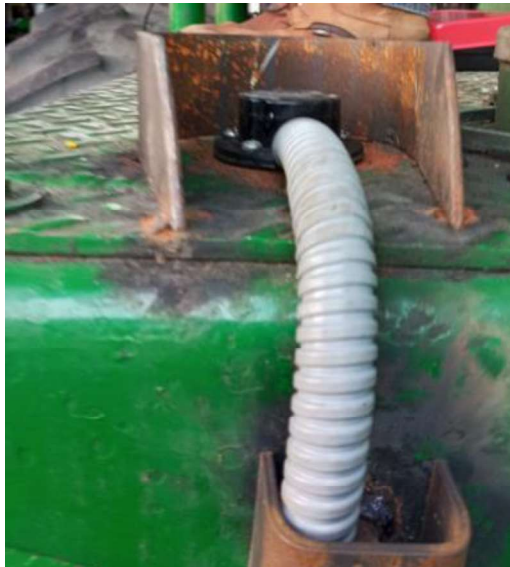
- Amarillo: señal (azul)
- Café: positivo +12 (rojo)
- Verde: negativo (negro)

Seguidamente del conector *vanguard* va el cable TSJ de 3 hilos, que es el que se transporta hacia la cabina, en el cable TSJ, los hilos son los siguientes:

- Blanco: positivo (café)
- Verde: negativo (verde)
- Negro: señal (amarillo)

El cable TSJ se recubre con tubo flexible para evitar posibles daños, como se observa en las imágenes de las figuras 46 y 47.

Figura 46. **Cableado del sensor de combustible**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

Figura 47. **Cableado del sensor de combustible hacia la cabina**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

2.4.1.2. Alimentación

Los 12 V para alimentar al sistema, se toman del interruptor de encendido de la máquina alzadora, exactamente de la posición de accesorios, para que el equipo sea encendido únicamente, cuando ya se empiece a trabajar con la máquina alzadora. Este interruptor se encuentra en el panel de medición, a continuación, se observa en la imagen de la figura 48.

Figura 48. **Panel de medición de la máquina alzadora**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

Se derivan cables de la alimentación que recibe el tacómetro, ya que este empieza a tener voltaje cuando el interruptor se encuentra en la posición de accesorios, para transportar la alimentación a los *enclosures* y los cables que alimentan y transportan las señales de los sensores de efecto Hall y el sensor de combustible; fuera de los *enclosures* debe realizarse los empalmes para derivar a cada punto el voltaje.

Figura 49. **Pines del tacómetro de la máquina alzadora**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

2.4.1.3. Sensores de efecto Hall

En la parte no móvil de la tornamesa se colocaron 4 bases para instalar los sensores de efecto Hall que detectan si la pluma gira hacia la derecha o hacia la izquierda, y en la parte móvil o que gira se colocó un imán, ya que al moverse pasa enfrente del sensor de efecto Hall que detectara el imán cuando la tornamesa gire.

Al momento de instalar el imán, se debe verificar que la cara o polo sur quede viendo hacia los sensores efecto Hall.

Figura 50. **Instalación de imán y sensores de efecto Hall**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021.) Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

Figura 51. **Sensores de efecto Hall e imán**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

Para detectar cuando la pluma está arriba o abajo, fueron instaladas unas bases en el eje donde se levanta la pluma (parte no móvil), cada uno apuntando a una diferente dirección; y en la parte que esta frente al eje, del brazo superior de la pluma, se instaló el imán; así con esto al momento que el cilindro de levante realice algún movimiento, el imán gire con él y saber si la pluma está arriba o abajo.

Figura 52. **Instalación de sensores de efecto Hall en la pluma**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

Figura 53. **Instalación de sensores de efecto Hall en la pluma**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

2.4.1.4. Sensor GLTV7

En la instalación del sensor de combustible se abrió un agujero en el tanque para poder insertar el sensor en el tanque, con la intención de proteger se aisló con un cobertor lateral para evitar posibles daños por pisaduras.

Figura 54. **Instalación del sensor de combustible en el tanque**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

Todos los cables de los sensores se protegieron con tubo flexible para evitar daños. Este tubo es sostenido en por abrazaderas en puntos estratégicos durante el trayecto hacia la cabina de la máquina alzadora.

2.4.1.5. Sensor de presión

Para la instalación del sensor que utiliza para saber cuándo se acciona la palanca de mando para hacer la acción de abrir la garra se utilizan un Tee, un codo y un *fitting*, para que el fluido del aceite pueda llegar al sensor.

Figura 55. **Instalación del sensor (presostato) en la palanca de mandos**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

A la manguera que sale de la palanca de mando, para accionar la bomba hidráulica que lleva el flujo de aceite para abrir la garra, se le coloca el Tee para tener una derivación del flujo de aceite, y a este el codo para cambiarle la

dirección hacia abajo, luego se le coloca el *fitting* para hacer la conexión entre el codo y el sensor.

2.4.1.6. Enclosure

La base donde están los *enclosures*, se encuentra instalada dentro de la cabina de la máquina alzadora, por lo tanto, todos los cables van direccionados hacia la cabina para colocarse en los conectores hembra y estos van a los conectores macho que tiene el *enclosure*. Se aprecia en las imágenes de las figuras 56 y 57.

Figura 56. **Base para los *enclosures***



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

Figura 57. **Base para los *enclosures* y base para la *tablet***



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A., 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

Los *enclosures* se instalaron en ese lugar, considerando que el operador pueda visualizar la pantalla LCD y no interfiera en el control visual del frente de la máquina alzadora; asimismo, la base de la *tablet* utilizada para interactuar con la aplicación móvil fue ensamblada en un lugar que no afectara la visibilidad del frente de la máquina y cerca del puerto USB del *enclosure*, para la carga respectiva.

2.4.1.7. Señal de RPM

La señal de las revoluciones por minuto -RPM- viene de la terminal W del alternador, esta señal llega hasta el tacómetro analógico del panel de mediciones, como se mostró en la figura 40 de la entrada de la señal del tacómetro se deriva un cable para transportar esta señal hacia el conector hembra que va conectado al *enclosure*.

2.4.2. Segunda versión

Al realizar pruebas en la primera versión, el sistema cumplía con detectar los movimientos que se realizan para completar una uñada y la lectura de las variables de la alzada (RPM, diésel y nivel de carga de la batería).

Durante esta versión fueron diseñadas bases que protegieran de una mejor manera a los sensores para evitar los posibles daños o destrucción, al estar en funcionamiento en el campo.

Además, se llevó a cabo de forma simultánea el desarrollo de la segunda versión de la placa de circuito impreso, donde se unen ambos sistemas para dejar únicamente un *enclosure*, así también crear una nueva base para este.

A continuación, se describen las etapas que fueron modificadas de la instalación.

2.4.2.1. Instalación de cable para la alimentación y recepción de señales de sensores

En esta etapa se modificó la caja de donde se realizan las conexiones de los sensores de efecto Hall y se agregó otra más.

Se cambió la caja de plástico donde se realizaba las conexiones entre los sensores efecto Hall y el cable de 12 hilos, por una caja elaborada de lámina de hierro negro, con el fin de tener una mayor protección, a continuación se muestra e la imagen de la figura 58.

Figura 58. **Caja central de sensores de efecto Hall**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A., 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

El cable de 12 hilos que sale de acá sigue teniendo el mismo color de hilo para las funciones que se definieron en la primera versión. Este cable va hacia una segunda caja, donde se une con el cable que viene del sensor de combustible para salir por un mismo cable.

Figura 59. **Caja central de sensores**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

En esta caja se unen ambos cables, el cable de los sensores de efecto Hall y el del sensor de combustible, a un cable igual de 12 hilos, la tabla por color de hilo es la XXVI.

Tabla XXVI. **Cable de 12 hilos hacia la alzadora**

| Cableado de sensores hacia la cabina | |
|--------------------------------------|----------------|
| Función | Color de hilo |
| +12V | Rojos, Rosados |
| GND | Negros, Verdes |
| efecto Hall d (abajo) | Blanco |
| efecto Hall u (arriba) | Azul |
| efecto Hall r (derecha 1) | Naranja |

Continuación de la tabla XXVI.

| | |
|-----------------------------|--------------|
| efecto Hall I (izquierda 1) | Verde Oscuro |
| efecto Hall R (derecha 2) | Café |
| efecto Hall L (izquierda 2) | Gris |
| Sensor de combustible | Violeta |
| Libre | Amarillo |

Fuente: elaboración propia.

2.4.2.2. Sensores de efecto Hall

Fueron modificadas las bases de los sensores de la tornamesa, la base de los dos imanes y la base de los sensores que van sobre el eje donde se levanta la pluma.

En las bases de la tornamesa se trató de cubrir la mayor parte del sensor, solo queda expuesta la parte frontal para que detecte al imán, si el sensor llegase a estar a una distancia donde no detecta el imán, se puede acercar en dirección al imán para que lo detecte; en esta base se coloca un conector *vanguard* a cada sensor, logrando que su sustitución sea aún más sencilla que en la primera versión. Para que no lleguen cuatro cables con su respectivo tubo flexible a la caja central de sensores de efecto Hall, se unen los sensores de cada giro, es decir, los sensores que detectan el giro a la izquierda se transporta el cable de uno de los sensores hacia la otra base donde está el otro sensor, y de allí sale en solo tubo flexible hacia la caja central de sensores de efecto Hall, lo mismo pasa con los sensores que detectan el giro a la derecha, logran que sean más ordenadas las conexiones.

Figura 60. **Sensor de efecto Hall en la base de la tornamesa**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

Figura 61. **Vista frontal, bases de los sensores de efecto Hall en la tornamesa**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

Figura 62. **Bases para sensores de efecto Hall en la tornamesa**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

La base del imán de la tornamesa se modificó para que quedara más cerca a los sensores, y así evitar que estén muy salidos de base para detectar este.

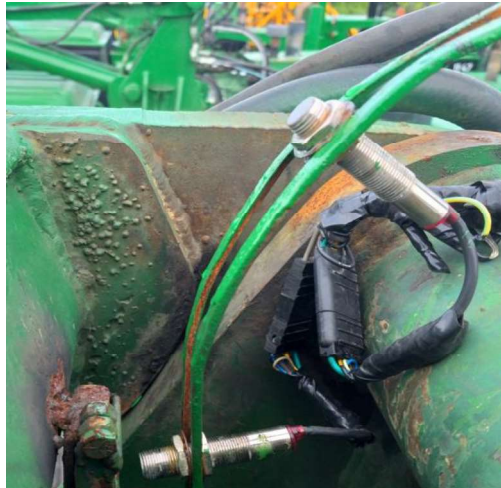
Figura 63. **Base imán tornamesa**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

Para las bases de los sensores que detecta si la pluma esta arriba o abajo se hizo una sola base, un arco, con el objetivo que fuera calibrable el ángulo de detección de ambos sensores. Igual que los sensores de la tornamesa, a estos también se les dejó el conector *vanguard* por si se necesita sustituirlos sea de una manera sencilla.

Figura 64. **Base de arco para sensores de levante de la pluma**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

2.4.2.3. Sensor GLTV7

La base que se tenía en la versión uno quedaba al descubierto por encima, en esta versión la base fue modificada en una base circular con tapadera; además se le colocó también un conector *vanguard* al cableado, para que, si se llega a necesitar, sustituir el sensor y se realice de una manera simple.

Figura 65. **Base sensor de combustible**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

2.4.2.4. Enclosure

En la segunda versión del *enclosure*, se redujo a una sola caja (*enclosure*), la base es más pequeña, lo que genera la posibilidad de colocarla en otros lugares. Se decidió colocarlo a un costado del tablero de medición, para que el operador tenga una buena visibilidad de la pantalla LCD, y que el *enclosure* no afecte la visibilidad del frente de la máquina alzadora.

Figura 66. **Base del *enclosure***



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

La base para la *tablet* quedó enfrente de este tablero de medición.

Figura 67. **Base para la *Tablet***



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

2.5. Detalle de fallas cubiertas

Al momento de realizar las pruebas en el campo, se procedió a resolver algunas fallas detectadas y que en alguna medida estaban afectando el funcionamiento del equipo, las cuales se citan seguidamente:

- No detecta uñada: esta falla se presentó, derivado que alguno de los sensores de efecto Hall estaban posicionados a una distancia mayor a 10 mm del imán, aunque el imán pasara frente al sensor no lo detectaba. La solución fue verificar que todos los sensores de efecto Hall no queden a una distancia mayor de 10 mm del imán.

Otra posible causa de falla es que el imán esté colocado con su polo norte hacia los sensores de efecto Hall, esta falla es difícil que ocurra, en virtud que se debe verificar al momento de ser colocado el imán en su base, que el polo sur quede frente a los sensores de efecto Hall.

Sin embargo, en el caso que persista la falla de no funcionar, aplicando cualquiera o las dos soluciones anteriores, podría considerarse que el sensor este dañado o defectuoso, y se puede guiar bajo la trama de movimientos y ver qué trama no se visualiza en la pantalla LCD, para determinar cuál sensor revisar; además, los sensores de efecto Hall cuentan con un indicador led, cuya finalidad es verificar si detecta el campo magnético.

- Al buscar el *bluetooth* del equipo no aparece en la *tablet*: esta falla puede originarse porque el módulo *bluetooth* no está bien conectado, el módulo *bluetooth* tiene designado en la tarjeta electrónica un terminal block para que sea conectado, se conectó mediante *jumper*s, estos al estar la

máquina ya en trabajo por la vibración que se genera, provocaba falso contacto o que se desconectara totalmente; se solventó la falla al soldar los pines del módulo *bluetooth* directamente a cables, además se le colocó un poco de silicón en los tornillos del terminal block para evitar que se aflojen.

- Si se conecta al *bluetooth* de la *tablet*, pero no se visualiza datos; esta falla regularmente se genera al terminar de armar un *enclosure* y realizar las pruebas de funcionamiento, al revisar lo que podría estar produciendo esta falla, se logró determinar que eran las soldaduras entre los pines que se utilizan para la comunicación serial entre ambos microcontroladores, una alternativa de solución es medir que estos pines tengan continuidad entre sí.

3. FASE DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

3.1. Manual técnico

La elaboración del manual técnico para el mantenimiento del equipo electrónico, instalado en la máquina alzadora, se llevó a cabo con base en la estructura y formato establecido por el Departamento de Agricultura de Precisión del Ingenio Magdalena, S. A.; y fue entregado al Ingeniero de Instrumentación y al jefe del Departamento de Agricultura de Precisión.

El manual está hecho para la segunda versión del *enclosure* y de la instalación de las bases dispuestas para los sensores.

3.1.1. Introducción

El sistema de telemetría y mapeo de productividad efectúa la adquisición de la cantidad de uñadas con la ubicación de donde se realizó la misma; además realiza las siguientes mediciones: carga de la batería, RPM, combustible y horómetro de la alzadora de caña; los datos son transmitidos inalámbricamente por *bluetooth* a la aplicación Android MAGTelemetriaAlce y esta los reenvía a un servidor IMSA. La aplicación no está disponible para IOS u otro sistema operativo para móviles.

Este manual es integrante del equipo de telemetría mapeo de productividad en frentes manuales y debe ser entregado al usuario o instalador junto con el aparato.

Para el manejo adecuado del equipo, el instalador y personal de mantenimiento deben seguir estrictamente las especificaciones contenidas en el manual.

En caso de daño parcial es posible realizar una reparación del equipo, al consultar los pasos de la sección de diagramas eléctricos.

Aplica a todos los usuarios que tengan un vínculo con el Área de Cosecha, Taller y Automatización Agrícola, entre ellos:

- Ingenieros interesados en especificaciones técnicas del aparato
- Instalador cualificado, para una instalación correcta del aparato
- Personal de mantenimiento o reparación

3.1.2. Definiciones

Se describen los símbolos y términos que se utilizan dentro de este manual.

3.1.2.1. Definición de los símbolos

En la tabla XXVII, se describen los símbolos utilizados en el manual.

Tabla XXVII. **Definición de los símbolos**

| SÍMBOLO | SIGNIFICADO |
|---|--------------------|
|  | Peligro |
|  | Advertencia |

Continuación de la tabla XXVII.

| | |
|---|---------------|
|  | Nota |
|  | Procedimiento |

Fuente: elaboración propia.

3.1.2.2. Términos y definiciones

- RPM: revoluciones por minuto.
- Telemetría: la medición remota de magnitudes físicas y el posterior envío de la información hacia un operador del sistema.
- Mapeo de productividad: se utiliza para comparar la distribución geográfica de la producción y así determinar qué áreas presentan oportunidades para desarrollar estrategias de maximización de producción.
- Uñada: es la caña de azúcar que prensa con la garra, la alzadora al cargar la jaula o carreta utilizada para trasladar la caña al ingenio.
- GPS: sistema de posicionamiento global.
- *Enclosure*: caja de aluminio donde se encuentra la placa de circuito impreso y los conectores para los sensores exteriores.
- *Firmware*: es el conjunto de instrucciones de un programa informático que se encuentra registrado en una memoria ROM, *flash* o similar. Estas instrucciones fijan una lógica primaria que ejerce el control de los circuitos electrónicos de un dispositivo.

3.1.3. Advertencias

Se detallan en la tabla XXVIII los cuidados que se deben tener en los procesos del manejo del equipo.

Tabla XXVIII. **Definición de las advertencias**

| Símbolo | Concepto | Definición |
|---|-------------------------------|--|
|  | Instalador | <ul style="list-style-type: none"> La instalación debe ser realizada exclusivamente por un personal cualificado, con conocimientos específicos sobre instalaciones eléctricas y aparatos electrónicos |
|  | Finalización | <ul style="list-style-type: none"> Al finalizar la instalación se debe garantizar que el aparato cumpla con todos los requerimientos para su correcto funcionamiento y durabilidad, de acuerdo con las disposiciones del manual. |
|  | Mal uso | <ul style="list-style-type: none"> El aparato debe utilizarse únicamente para los fines que se ha diseñado. Cualquier otro uso se considera peligroso. El uso incorrecto puede afectar la duración, el funcionamiento y la seguridad del aparato. |
|  | Situaciones peligrosas | <ul style="list-style-type: none"> No poner en marcha el aparato en condiciones peligrosas, tales como: olor a plástico quemado, problemas con cables pelados, partes del aparato bajo el agua o dañado, funcionamiento defectuoso. En caso de peligro, solicitar la intervención de personal cualificado. En caso de peligro, desconectar la alimentación eléctrica. |

Continuación de la tabla XXVIII.

| | | |
|---|--------------------------------------|--|
|  | Peligro de descarga eléctrica | <ul style="list-style-type: none"> • Desconectar la fuente de alimentación eléctrica antes de cualquier procedimiento o trabajo en los componentes del aparato. • Para las conexiones eléctricas, utilizar exclusivamente componentes conformes y de acuerdo con las especificaciones. • Asegurarse de que el aparato no se pueda encender accidentalmente. |
|  | Finalización | <ul style="list-style-type: none"> • Al finalizar la instalación se debe garantizar que el aparato cumpla con todos los requerimientos para su correcto funcionamiento y durabilidad, de acuerdo con las disposiciones del manual. |
|  | Mal uso | <ul style="list-style-type: none"> • El aparato debe utilizarse únicamente para los fines que se ha diseñado. • Cualquier otro uso se considera peligroso. • El uso incorrecto puede afectar la duración, el funcionamiento y la seguridad del aparato. |
|  | Situaciones peligrosas | <ul style="list-style-type: none"> • No poner en marcha el aparato en condiciones peligrosas, tales como: olor a plástico quemado, problemas con cables pelados, partes del aparato bajo el agua o dañado, funcionamiento defectuoso. • En caso de peligro, solicitar la intervención de personal cualificado. • En caso de peligro, desconectar la alimentación eléctrica. |

Continuación de la tabla XXVIII.

| | | |
|---|--|---|
|  | Peligro de
descarga
eléctrica | <ul style="list-style-type: none"> • Desconectar la fuente de alimentación eléctrica antes de cualquier procedimiento o trabajo en los componentes del aparato. • Para las conexiones, eléctricas utilizar exclusivamente componentes conformes y de acuerdo con las especificaciones. • Asegurarse de que el aparato no se pueda encender accidentalmente. |
|  | Manejo de
tarjeta
electrónica | <ul style="list-style-type: none"> • No tocar directamente los componentes de la tarjeta. • Manipular la tarjeta electrónica con la yema de los dedos por las orillas. • Antes de conectar la alimentación eléctrica, verificar que no esté invertida la polaridad. • Proteger de líquidos, polvo, humedad. • Verificar que la tarjeta electrónica a instalar sea compatible con el equipo y sensor. |

Continuación de la tabla XXVIII.

| | | |
|---|----------------------|--|
|  | Mantenimiento | <ul style="list-style-type: none"> • El mantenimiento adecuado asegura la eficiencia y el buen funcionamiento del aparato a través del tiempo. • El mantenimiento debe realizarse de acuerdo con las instrucciones presentadas en este manual. • El mantenimiento y las reparaciones de los aparatos las deben realizar únicamente el personal capacitado y autorizado por la dependencia respectiva. • Consultar la sección de diagrama eléctrico para el cambio de piezas. • Utilizar el equipo y herramientas adecuado para realizar el mantenimiento. |
|  | Manual | <ul style="list-style-type: none"> • Este manual de instalación, Uso y mantenimiento debe ser entregado al personal relacionado directo con el equipo y ser ubicado en un lugar accesible. |

Fuente: elaboración propia.

3.1.4. Características y datos técnicos

Se describe el proceso que se utiliza para detectar que la alzacora ha realizado una uñada; así como los datos técnicos de los circuitos que se utilizan.

3.1.4.1. Funcionamiento

La detección de la uñada se realiza por medio de sensores que detectan los movimientos que realiza la máquina alzadora en la labor de alce. Estos sensores se encuentran colocados en la tornamesa y la pluma de la máquina alzadora. Para ubicar el punto geográfico de donde se realizó la uñada, el sistema cuenta con GPS.

La adquisición de los datos de telemetría se realiza de la siguiente manera:

- Para la medición del nivel de combustible, la alzadora tiene instalado un sensor dentro del tanque de combustible.
- El nivel de carga de la batería se detecta con el valor de voltaje que le ingresa al *enclosure* por medio de un divisor de tensión.
- La lectura de RPM se realiza por medio de la señal que viene del terminal W del alternador de la máquina alzadora.
- Dentro del *enclosure* se encuentra el horómetro digital que toma la lectura del sistema Murphy de presión que tiene la máquina alzadora, al estar arrancada la máquina alzadora este sistema envía una señal continua de 12 V aproximadamente.

Los datos del horómetro digital y los movimientos realizados para completar una uñada se pueden visualizar en la pantalla LCD del *enclosure*. Estos y los datos de RPM, nivel de combustible y nivel de carga de la batería se pueden visualizar en la aplicación instalada en la *tablet*, la aplicación también reenvía los datos a un servidor de IMSA para el análisis y monitoreo de los datos.

El equipo se enciende al colocar el interruptor de encendido de la alzadora en la posición de accesorios, sin que el horómetro empiece a contar.

El horómetro empieza a contar, al poner el estado de marcha en el interruptor. La *tablet* se conecta con el equipo por medio de *bluetooth*, en la *tablet* se debe buscar el *bluetooth* del *enclosure* designado a la alzada, regularmente trae la ID de la alzada y la contraseña es: 2020, o bien los otros dos *bluetooth*, identificados con los nombres: HC-05 y las contraseñas: 0000 o 1234 y RNBT más una secuencia de caracteres y las contraseñas 0000 o 1234.

3.1.4.2. Datos técnicos

La tabla XXIX describe los datos técnicos del equipo.

Tabla XXIX. **Datos técnicos**

| | | | |
|--------------|---|----|----------------------------------|
| Alimentación | Tensión | V | 12 a 16 |
| | Tipo | - | DC |
| | Frecuencia | Hz | 0 |
| Consumo | Potencia de encendido | W | |
| | Potencia de apagado | W | 0 |
| Protección | Fusible | | 1 |
| | IP | | |
| Sensores | Sensor de RPM | | Cuenta vueltas(w) del alternador |
| | Sensor para la detección de movimientos | | NJK-5002C |
| | Sensor para el nivel de batería | | Divisor de voltaje en la placa |
| | Sensor de nivel de combustible | | GLTV7 |

Continuación de la tabla XXIX.

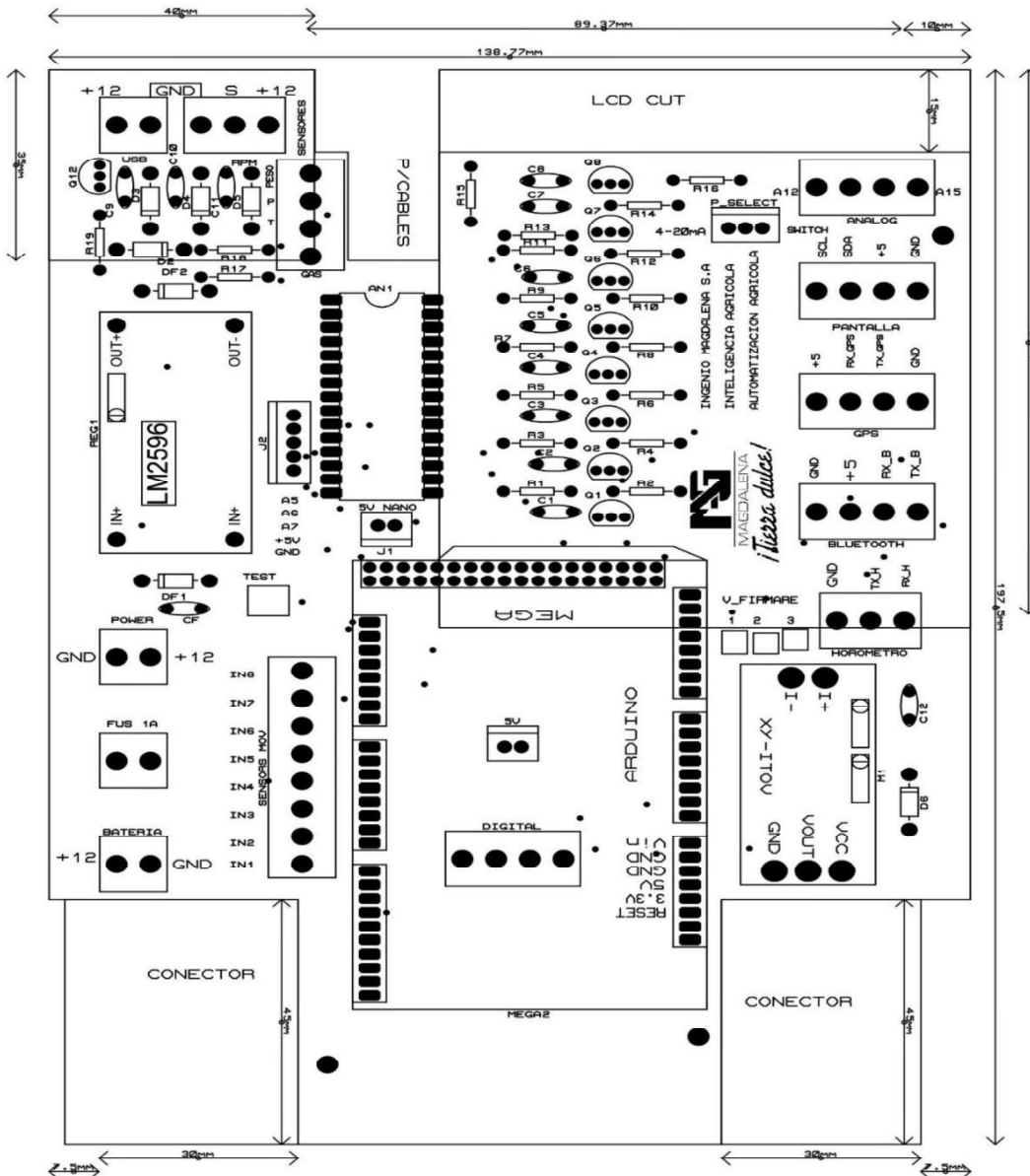
| | | | | |
|---------------|--------------------------------------|-----|-------|---------------|
| Comunicación | Versión de <i>bluetooth</i> | | HC-05 | SparkFun Mate |
| | Potencia de emisión <i>bluetooth</i> | dBm | 4 | 4 |
| | Sensibilidad | dBm | -80 | -80 |
| | Alcance | m | 5 | 17 |
| Dimensiones | Ancho | mm | 138 | |
| | Largo | mm | 200 | |
| | Alto | mm | 68 | |
| Escalabilidad | | | Sí | |

Fuente: elaboración propia.

3.1.4.2.1. Diagrama de conexiones

Se detallan en la figura 68 las conexiones que van en los terminales de la tarjeta electrónica.

Figura 68. Tarjeta electrónica



Fuente: Ingenio Magdalena S. A., realizado con *software* Proteus.

Tabla XXX. **Conexiones de la tarjeta electrónica**

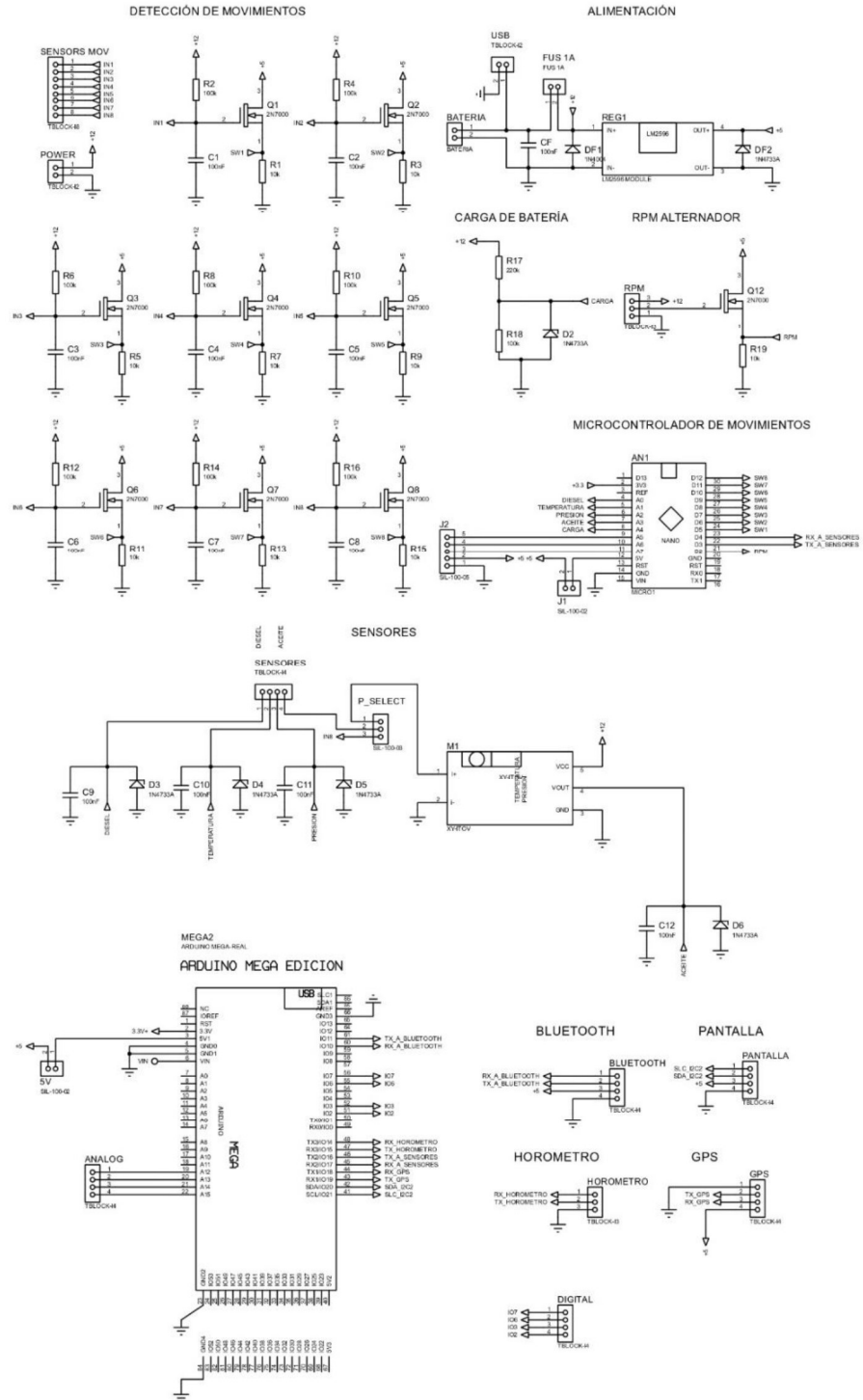
| Terminal block | Componente | Pines | | | | | | | |
|------------------|--------------------------------------|---------------|-------------------|-----|---------------|---------------|----|-----------|-----|
| USB | Cargador <i>tablet</i> | Positivo: +12 | | | | Negativo: GND | | | |
| RPM | Sensor de RPM | Positivo: +12 | | | Negativo: GND | | | Señal RPM | |
| SENSORES | Sensores de telemetría | Peso | Presión de aceite | | Temperatura | | | Diésel | |
| ANÁLOGO | Pines análogos Arduino Mega | A12 | | A13 | | A14 | | A15 | |
| PANTALLA | Pantalla LCD | Positivo: +5 | | | Negativo: GND | | | SCL | SDA |
| GPS | Módulo GPS | Positivo: +5 | | | Negativo: GND | | | x | x |
| <i>BLUETOOTH</i> | Módulo <i>bluetooth</i> | Positivo: +5 | | | Negativo: GND | | | x | x |
| HORÓMETRO | Horómetro digital | Negativo: GND | | | | Tx | | Rx | |
| POWER | Alimentación para sensores | Positivo: +12 | | | | Negativo: GND | | | |
| FUS 1A | Fusible | Fusible 1ª | | | | | | | |
| BATERÍA | Alimentación | Positivo: +12 | | | | Negativo: GND | | | |
| SENSORES MOV | Sensores de detección de movimientos | N1 | N2 | N3 | N4 | N5 | N6 | N7 | N8 |

Fuente: elaboración propia.

3.1.4.2.2. Circuito electrónico

Utilizar el siguiente circuito electrónico para la reparación y chequeo de tarjetas electrónicas, el diagrama de la figura 69 corresponde a la tarjeta de circuito impreso.

Figura 69. Diagrama esquemático



Fuente: elaboración propia, realizado con *software* Proteus.

De ser necesario reprogramar los microcontroladores, debe realizarla el profesional a cargo.

3.1.5. Instalación en la máquina alzadora 2254

Para iniciar la instalación del equipo de mapeo de productividad en máquinas alzadoras de caña de azúcar, se debe empezar por armar el *enclosure* con la tarjeta de mapeo de productividad, seguidamente se procede a instalar los sensores y cableado en la alzadora.

Tabla XXXI. **Componentes para armar una tarjeta de mapeo de productividad**

| Código SAP IMSA | Descripción | Cantidad | Imagen |
|-----------------|---|----------|---|
| 14042796 | Módulo <i>bluetooth</i> sparkfun plateado | 1 |  |
| 14043497 | Arduino Nano V3.0 | 1 |  |
| 14042797 | Módulo convertidor DC 3V-40V a 1.5-35V | 1 |  |
| 14044491 | Transistor 2N7000 | 9 |  |
| 14044483 | Block d/terminal 3 pines | 1 |  |

Continuación de la tabla XXXI.

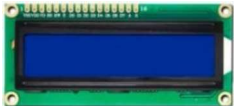
| | | | |
|----------|------------------------------------|----|---|
| 14045181 | Diodo Zener 5.1V 1/4W | 6 |  |
| 14043668 | Módulo d/tensión corriente 5V | 1 |  |
| 14045236 | Capacitor cerámico 100nF 104 | 13 |  |
| 14046179 | Resistencia 227KΩ 1/4W | 1 |  |
| 14045390 | Resistencia 500KΩ 1/4W | 1 |  |
| | Resistencia 1MΩ | 1 |  |
| 14044531 | Resistencia 10KΩ ¼ W carbon | 17 |  |
| 14039205 | Tarjeta Arduino ATMEGA 2560 | 1 |  |
| 14044484 | Block d/terminal 2 pines | 19 |  |
| 14044481 | Conector header 40 pin macho-macho | 1 |  |

Continuación de la tabla XXXI.

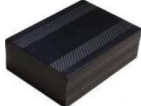
| | | | |
|----------|-----------------------|---|---|
| 14045235 | Diodo 1N4004 400V 1A | 1 |  |
| 16006952 | Estaño p/soldar 1/16" | 1 |  |

Fuente: elaboración propia, realizado con imágenes de la web.

Tabla XXXII. **Componentes para ensamblar un *enclosure***

| Código
SAP IMSA | Descripción | Cantidad | Imagen |
|--------------------|---|----------|---|
| 14043289 | LCD 16X2 | 1 |  |
| 14046654 | Módulo I2C LCD 16X2 | 1 |  |
| 14046177 | Conector circular 9 macho
p/soldar | 2 |  |
| 14046335 | Multi horómetro digital 321 | 1 |  |
| 16011727 | Tornillo 3X16 DIN 7985H
redonda Phillips | 18 |  |
| 16011728 | Washa 3 DIN 127B | 16 |  |

Continuación de la tabla XXXII.

| | | | |
|----------|--|----|---|
| 16011729 | Roldana galvanizada 3 | 16 |  |
| 16011730 | Tuerca hexagonal 3 DIN rosca ordinaria 8 | 16 |  |
| 14044542 | Porta fusible FH043 10ª | 1 |  |
| 16006952 | Estaño p/soldar 1/16" | 1 |  |
| 14028848 | Fusible 1 A | 1 |  |
| 14046181 | Caja d/aluminio 7.87 X5.43X2.67" | 1 |  |
| | Tarjeta de mapeo de productividad | 1 |  |
| 14046182 | Cable 22 AWG 12C 12 hilos | 1m |  |
| 16006496 | Cinta p/aislar 33 | 1 |  |
| 14043668 | Convertidor 12v-5V | 1 |  |

Continuación de la tabla XXXII.

| | | | |
|----------|--|---|---|
| 14005600 | Espiga D/4 alambres
p/vanguard 821030 | 1 |  |
|----------|--|---|---|

Fuente: elaboración propia, realizado con imágenes de la web.

Tabla XXXIII. **Sensores**

| Código
SAP IMSA | Sensor | Cantidad | Imagen |
|----------------------------|---|---|---|
| 14043678 | Sensor de nivel de combustible
GLTV7 | 1 |  |
| 14046175 | Módulo GPS NEO-6M | 1 |  |
| 14039207 | NJK-5002C sensor de efecto
Hall NPN 3 cables | 6 |  |
| 14042798 | Transmisor presión MPM 489
100 MPa | 1*(Si no se
utiliza el
presostato) |  |
| | Presostato SUCO
0196459031009 | 1 *(Si no se
utiliza el
sensor MPM) |  |

Fuente: elaboración propia, realizado con imágenes de la web.

Tabla XXXIV. **Materiales para la instalación en la alzadora**

| Código
SAP IMSA | Material | Imagen | Cantidad |
|----------------------------|--|---|-----------------|
| 14013963 | Tubo flexible LT D/1/2" c/forro |  | 8.5 m |
| 14045503 | Kit imán cerámico
1.7/8"X7/8"X3/8" 7044 |  | 2 |
| 14021023 | Banda d/amarre 14" H77698 |  | 10 |
| 16006496 | Cinta p/aislar 33 |  | 1 |
| 14046749 | Pin p/conector tin crimp 16-
18AWG |  | 18 |
| 14001045 | Terminal d/argolla D/3/16" |  | 3 |
| 14016053 | Terminal hembra p/cable 10-
12 |  | 1 |
| 14046178 | Conector circular 9 hembra |  | 2 |
| 14046748 | Abrazadera p/conector circular
3/4" |  | 2 |

Continuación de la tabla XXXIV.

| | | | |
|----------|--|--|-----|
| 14005600 | Espiga d/4 alambres
p/ <i>vanguard</i> 821030 |  | 8 |
| 14027662 | Cable TSJ 3X16 AWG. |  | 6m |
| 14046182 | Cable 22 AWG 12C 12 hilos |  | 7 m |

Fuente: elaboración propia, realizado con imágenes de la web.

3.1.5.1. Señal de RPM

La lectura de las RPM en las máquinas alzadoras 2254 se toma del tacómetro analógico que tienen en el tablero. En el caso que alguna máquina alzadora no disponga del tacómetro analógico, la señal puede ser tomada del terminal W del alternador.

3.1.5.2. Instalación de sensor de combustible

Para lograr instalar el sensor de combustible es pertinente seguir los siguientes pasos:

- Sensor varilla GLTV7
 - Instalación en tanque: hacer una perforación en el tanque de 6cm de diámetro. Previo, colocar imanes a efecto de evitar que las

astillas de metal entren en el tanque. En la figura 70 se aprecia un ejemplo.

Figura 70. **Perforación en el tanque**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

- Medir la distancia entre el fondo del tanque y la superficie. Como se observa en la figura 71.

Figura 71. **Medición del fondo del tanque**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

- En el caso que el sensor sea de mayor tamaño, cortar el sensor con la medida que se tomó desde el fondo del tanque a la superficie menos 5 mm, medir desde la cabeza del sensor.

Figura 72. **Medición del corte en el señor GLTV7**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

- Limar la superficie donde se realizó el corte.

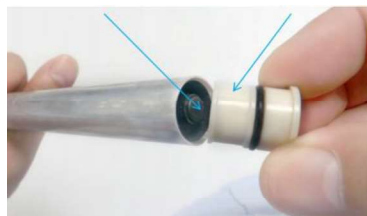
Figura 73. **Cómo limar la superficie**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

- Transferir las piezas del extremo cortado hacia el nuevo extremo del sensor. Asegurarse de que las piezas queden colocadas igual.

Figura 74. **Colocación de piezas**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

- El siguiente paso, no llevarlo a cabo sin haber cortado previamente a la medida del tanque:
 - Abrir la tapadera de la cabeza del sensor (retirar 2 tornillos), se encuentra un conector.
 - Conectar el calibrador al sensor.
 - Sumergir el sensor completamente en un recipiente con diésel.

Figura 75. **Sensor sumergido en diésel**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

- Encender el calibrador en el interruptor que se encuentra en el costado derecho.

- Presionar el botón F por dos segundos (primer botón de arriba hacia abajo). Esperar a que el led verde de *set* termine de parpadear. No mover el sensor.
- Retirar el sensor del diésel, dejar escurrir sin desconectar el calibrador, ni apagarlo.
- Al haber escurrido todo el diésel y transcurrido más de 3 minutos, desde que se retiró del diésel, presionar el botón E por dos segundos y esperar que el led *set* termine de parpadear, (segundo botón de arriba hacia abajo).
- Una vez calibrado el sensor, añadirle un conector *vanguard* para un montaje/desmontaje sencillo, en este conector los cables son así:
 - Café: vcc (rojo)
 - Verde: negativo (negro)
 - Amarillo: señal (azul)
- Importante: que los pasos antes citados sean llevados a cabo en el estricto orden que han sido enumerados.

Para comprobar una buena calibración, conectar el sensor a una batería y mida la señal de salida, debe variar proporcionalmente entre 0 y 5V dependiendo del nivel de diésel al que se encuentra. Hay que considerar que el sensor tiene un tiempo de respuesta de un (1) minuto.

3.1.5.3. Cableado

Para la detección de una uñada en la máquina alzadora 2254 John Deere, se manifiestan los siguientes movimientos: arriba, abajo, izquierda y derecha. Los movimientos de izquierda y derecha cuentan con 2 sensores en cada lateral, a

los cuales se les denomina: derecha 1, derecha 2, izquierda 1 e izquierda 2. Existe la posibilidad que se pueda medir el movimiento de abrir la garra.

Los sensores que se utilizan para la detección de movimiento en la alzadora 2254 son sensores de efecto Hall, estos, al recibir el voltaje de alimentación presentará un voltaje de salida, por debajo del de la alimentación (la variación no es significativa), también puede presentarse que al exponer el sensor a un polo de un imán, este cambia su estado y en la salida se ve un voltaje igual a cero, en síntesis, funciona como un interruptor normalmente cerrado, que se abre exponiendo el sensor con un polo de un imán (polo sur). La máxima distancia de detección entre el sensor y el imán son 10 mm.

El sensor de efecto Hall utilizado es el NJK-5002C, este cuenta con un led que indica que el sensor se encuentra sometido al campo magnético. Por lo que al momento de instalar el imán en la alzadora se debe verificar que sea de la cara o el polo (sur) que detecte el sensor.

El sensor cuenta con tres cables:

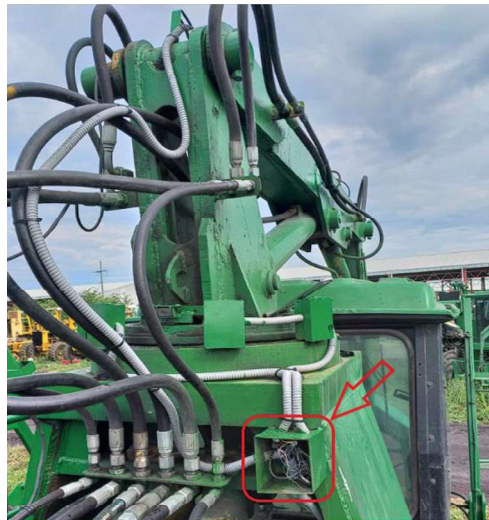
- Azul: negativo café
- Positivo +12
- Negro: señal

A estos sensores se les añade un conector *vanguard* para un montaje/desmontaje sencillo, en este conector los cables son:

- Amarillo: señal (negro)
- Café: positivo +12 (café)
- Verde: negativo (azul)

Al estar instalados los cables de todos los sensores de efecto Hall, estos deben ir direccionados a la caja central de sensores efecto Hall, (como se observa en la figura 76).

Figura 76. **Caja central de sensores de efecto Hall**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

En esta caja se deben conectar al cable de 12 hilos, de estos solo se utilizan 9, los que sobran se utilizan para reforzar los hilos de alimentación (positivo y negativo), cada sensor debe ir con un color específico de hilo del cable, guiarse por la tabla XXXV.

Tabla XXXV. **Cableado sensores de efecto Hall**

| Cableado sensores de efecto Hall | |
|----------------------------------|---------------|
| Función | Color de hilo |
| +12V | Rojo, rosado |
| GND | Negro, verde |
| De efecto Hall d (abajo) | Blanco |
| De efecto Hall u (arriba) | Azul |
| De efecto Hall r (derecha 1) | Naranja |

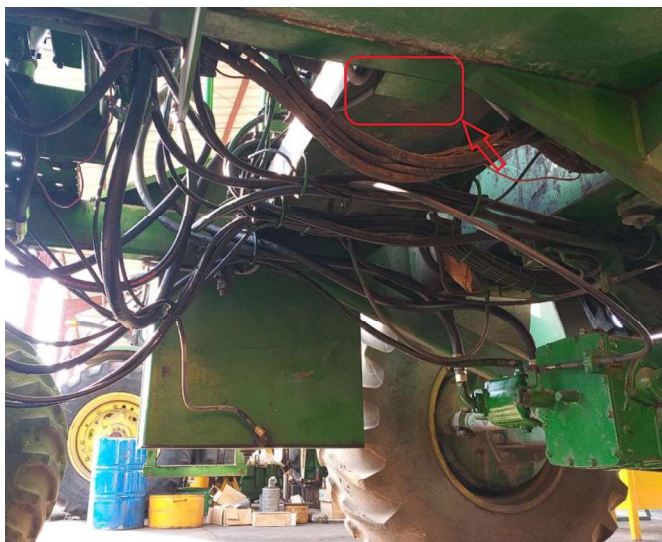
Continuación de la tabla XXXV.

| | |
|--------------------------------|-------------------|
| De efecto Hall I (izquierda 1) | Verde oscuro |
| De efecto Hall R (derecha 2) | Café |
| De efecto Hall L (izquierda 2) | Gris |
| Libre | Amarillo, violeta |

Fuente: elaboración propia.

Luego este cable debe ir direccionado a la caja central de sensores, la cual se encuentra ubicada en la parte inferior de la máquina alzadora.

Figura 77. **Ubicación de la caja central de sensores**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

Hacia esta caja es transportada la señal del sensor de combustible por medio de un cable TSJ, el que debe ser unido al cable que va hacia la cabina de la máquina alzadora y ser conectado al hilo violeta de este cable.

En la cabina se realizan dos extensiones con los conectores circulares 9 hembra una para la alimentación y lectura de los sensores de efecto Hall, y la otra para alimentar el *enclosure*, señal de horómetro, señal del nivel de combustible, RPM y sensor de presión de aceite en la palanca (si lo tuviese integrado la alzada). Del cable que viene de la caja central de sensores, se tomarán los alambres de las señales de los sensores efecto Hall y la alimentación para hacer el primer conector; se debe soldar cada alambre a un pin p/conector tin crimp 16-18 awg y colocar estos pines en el conector circular 9 hembra, como se describe en la tabla XXXVI.

Tabla XXXVI. **Pines del conector de sensores de movimiento y su alimentación**

| Sensores de movimientos y su alimentación | | |
|---|--------------------------------|---------------|
| Pin | Función | Color de hilo |
| 1 | +12V sensores | Rojo |
| 2 | GND sensores | Negro |
| 3 | De efecto Hall d (abajo) | Blanco |
| 4 | De efecto Hall u (arriba) | Azul |
| 5 | De efecto Hall r (derecha 1) | Naranja |
| 6 | De efecto Hall l (izquierda 1) | Verde |
| 7 | De efecto Hall R (derecha 2) | Café |
| 8 | De efecto Hall L (izquierda 2) | Gris |
| 9 | Presostato | Amarillo |

Fuente: elaboración propia.

Dicho cable debe ir conectado al conector circular 9 macho p/soldar que se encuentra destinado en el *enclosure* para la lectura y alimentación de los sensores de efecto Hall.

Para realizar el otro conector se debe tomar las señales mencionadas anteriormente y soldar cada alambre a un pin p/conector tin crimp 16-18awg y

colocar estos pines en el conector circular 9 hembra, como se describe en la tabla XXXVII.

Tabla XXXVII. **Pines conector telemetría y alimentación *enclosure***

| Telemetría y alimentación <i>enclosure</i> | |
|--|---------------------------|
| Pin | Función |
| 1 | +12V batería |
| 2 | GND batería |
| 3 | RPM |
| 4 | Diésel |
| 5 | Aceite |
| 6 | Temperatura |
| 7 | Sensor de presión (garra) |
| 8 | Horómetro |
| 9 | Libre |

Fuente: elaboración propia.

Los 12 voltios de la fuente se toman del panel de medición si cuenta con tacómetro en el panel, de allí se saca la señal de rpm, si no, se toma del alternador de la alzada, la señal del nivel de combustible viene en el cable que viene de la caja central de sensores y se identifica con un color violeta, la señal del sensor de presión se debe encontrar instalado en la palanca donde se hacen los movimientos para abrir/cerrar la garra y la señal de horómetro se toma del sistema Murphy que posee la alzada.

Una vez que se tenga las dos extensiones se deben colocar en el *enclosure* en su respectivo conector.

Para obtener la ubicación donde se realiza el envío de las tramas, se utilizó un módulo GPS, el cual debe instalarse dentro de la cabina de la máquina alzada, este cuenta con 4 pines los cuales son: Vcc, GND, Tx y Rx. Se les

añade un conector *vanguard* (la parte del macho) para un montaje/desmontaje sencillo, en este conector los cables son los siguientes:

- Amarillo: Tx GPS
- Café: Vcc
- Verde: Rx GPS
- Blanco: GND

El módulo GPS se encuentra instalado en una carcasa (para su protección) dentro de la cabina de la alzadora, por medio de la extensión que lleva el conector *vanguard*, esta extensión se debe introducir en la canaleta para una mayor protección, y ser conectado luego al *enclosure*. Como se ilustra en la figura 78.

Figura 78. **Localización módulo GPS en máquina alzadora 2254**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

3.1.5.4. Armar un *enclosure*

En la placa de circuito impreso se debe seleccionar qué tipo de sensor lleva instalado en la palanca donde se realiza el movimiento de abrir la garra, ya sea el presostato o el sensor MPM 489.

Se utiliza un código de colores para el cableado interno del *enclosure*, el código del *enclosure* de la máquina alzadora 2254, se describe en las tablas siguientes.

Tabla XXXVIII. **Pines del conector en el *enclosure*, sensores de movimiento y su alimentación**

| Sensores de movimiento y su alimentación | | |
|--|--------------------------------|---------------|
| Pin | Función | Color de hilo |
| 1 | +12V sensores | Rojo |
| 2 | GND sensores | Negro |
| 3 | De efecto Hall d (abajo) | Blanco |
| 4 | De efecto Hall u (arriba) | Azul |
| 5 | De efecto Hall r (derecha 1) | Naranja |
| 6 | De efecto Hall l (izquierda 1) | Verde |
| 7 | De efecto Hall R (derecha 2) | Café |
| 8 | De efecto Hall L (izquierda 2) | Gris |
| 9 | Presostato | Amarillo |

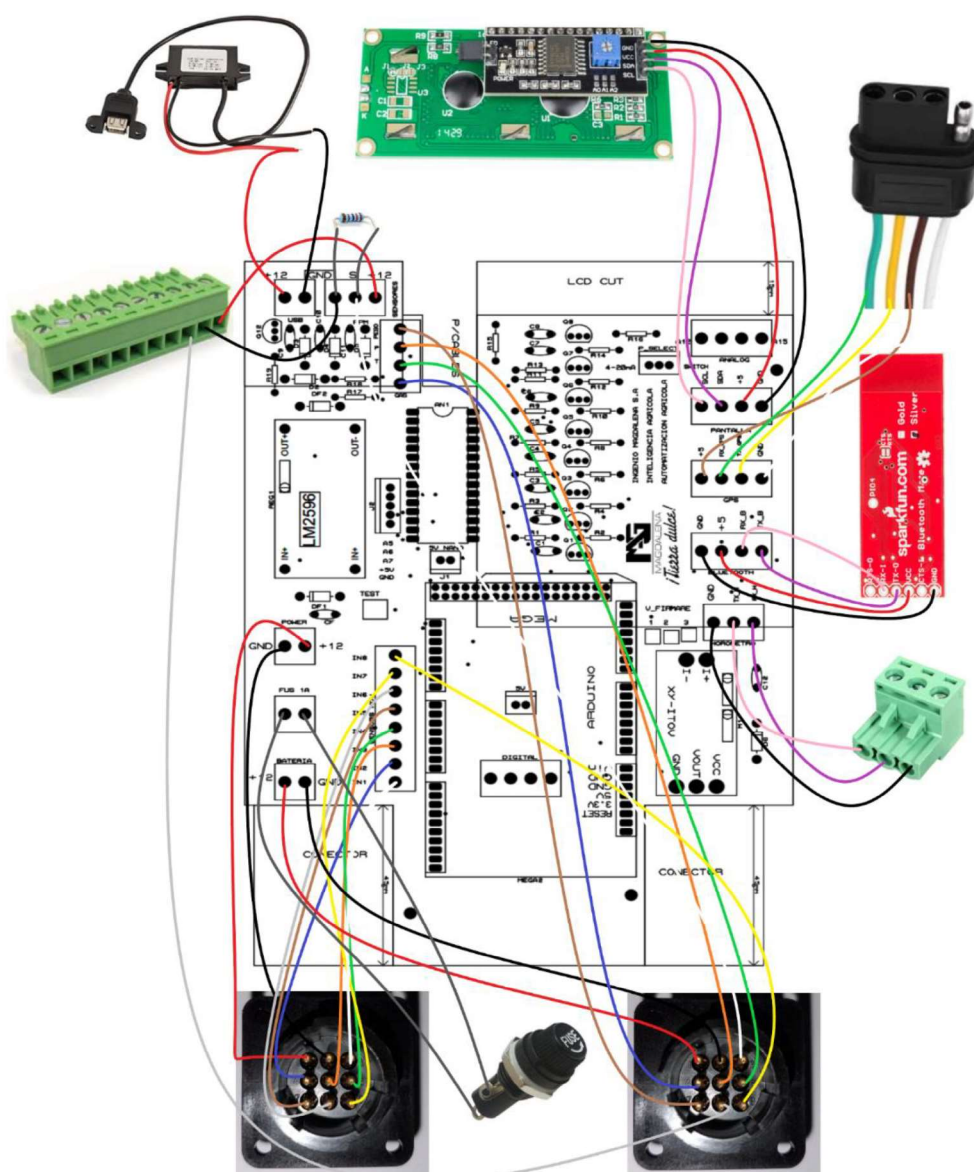
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. **Pines del conector en el *enclosure* telemetría y alimentación *enclosure***

| SENSORES DE MOVIMIENTOS Y ALIMENTACIÓN | | |
|--|---------------------------|---------------|
| Pin | Función | Color de hilo |
| 1 | +12V fuente | Rojo |
| 2 | GND fuente | Negro |
| 3 | RPM | Blanco |
| 4 | Diésel | Azul |
| 5 | Aceite | Naranja |
| 6 | Temperatura | Verde |
| 7 | Sensor de presión (garra) | Café |
| 8 | Horómetro | Gris |
| 9 | Libre | Amarillo |

Fuente: elaboración propia.

Figura 79. Conexiones dentro del *enclosure*



Fuente: elaboración propia, realizado con *software* Proteus y Paint 3D.

3.1.6. Galería

Las imágenes insertadas en las figuras de la 80 a la 86, son con el propósito de ilustrar como quedó la máquina alzadora 2254 John Deere, propiedad del Ingenio Magdalena, S. A. con el proyecto concluido, las cuales fueron realizadas dentro de las instalaciones del Ingenio.

Figura 80. **Sensor de efecto Hall en la base de la tornamesa**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

Figura 81. **Sensores de efecto Hall en la tornamesa**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

Figura 82. **Sensor de combustible instalado en el tanque**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

Figura 83. **Enclosure y tablet en sus bases dentro de la cabina**



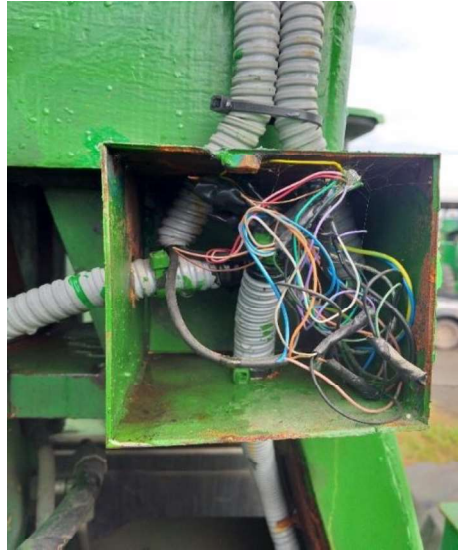
Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

Figura 84. **Sensores de efecto Hall en la base de arco de la pluma**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

Figura 85. **Caja central de conexiones de sensores de efecto Hall**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

Figura 86. **Caja central de conexiones de sensores**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa.
Colección particular. Guatemala.

3.2. Capacitación a los operadores de las máquinas alzadoras SP 2254 John Deere, para el uso del equipo electrónico y de la aplicación móvil

Para asegurar el buen uso del equipo y que los operadores puedan interactuar con él, se procedió a llevar a cabo talleres de capacitación, dirigidos a los colaboradores de cada frente (once en total) de alce del Ingenio Magdalena, S. A. Estas capacitaciones fueron desarrolladas, de forma conjunta, con el equipo técnico-profesional de Automatización Agrícola y el autor de este trabajo.

Los temas desarrollados durante los talleres de capacitación fueron los siguientes:

- Uso de la *tablet*
- Como emparejar el *bluetooth* del equipo electrónico con el de la *tablet*
- Interactuar con la aplicación móvil
- Pasos por seguir para el ingreso de los datos en la aplicación móvil
- Datos que se pueden visualizar en la pantalla LCD del *enclosure*
- Puerto USB para cargar la batería de la *tablet*
- Cuidados que se deben tener con el equipo electrónico

Además, se efectuó la grabación y edición de videos tutoriales, acerca de los primeros 4 temas, citados anteriormente y desarrollados durante la capacitación, dichos videos quedaron a la disposición del Ingenio Magdalena, S. A. a efecto sean de apoyo para los operadores y coordinadores de los frentes de alce, así como del manual de uso de la aplicación móvil, proporcionado por el equipo técnico-profesional de Automatización Agrícola.

Seguidamente, se consignan los enlaces para el acceso de los tres videos tutoriales, antes aludidos y que fueron subidos a la plataforma de YouTube.

- <https://youtu.be/HUstJZCgsvA>
- <https://youtu.be/yAcm9f2i89M>
- <https://youtu.be/9gJLawqQiqE>

La siguiente fotografía es una evidencia del proceso de capacitación con operadores del frente 5 de alce. El cual se llevó a cabo en un área del campo de trabajo de las instalaciones del Ingenio Magdalena, S. A.

Figura 87. **Capacitación del frente 5 de alce**



Fuente: [Fotografía de Favio Cifuentes]. (Ingenio Magdalena S. A. 2021). Taller Magrisa. Colección particular. Guatemala.

3.3. Medios para informar los avances del proyecto a las autoridades competentes del Ingenio Magdalena, S. A., durante el desarrollo del Ejercicio Profesional Supervisado

Como parte de la gestión del Departamento de Agricultura de Precisión, se contempló en la programación llevar a cabo reuniones de forma semanal. con el jefe de este departamento y el ingeniero de instrumentación a cargo del equipo técnico-profesional de Automatización Agrícola; para coordinar las actividades realizadas durante la semana, así como presentar avances y exponer ideas o dudas que se tuvieran relacionadas al proyecto.

Sin embargo, derivado de la pandemia COVID-19, varias de las reuniones semanales se sostuvieron de forma virtual, por medio de la plataforma Microsoft Teams, y otras se realizaron de forma presencial, realizadas en los salones de reuniones ubicados dentro del edificio administrativo del Ingenio Magdalena, S. A.

El Ingenio Magdalena, S. A. tiene un sistema de rendición de cuenta, nombrado carrera de ejecución, en el que, trimestralmente se establecen prioridades e indicadores para la ejecución de los proyectos asignados a cada grupo de personas dentro del Ingenio. Estas prioridades e indicadores son revisadas durante la reunión semanal para establecer las actividades pertinentes en el logro y cumplimiento de la meta planificada para el trimestre.

El equipo técnico-profesional de Automatización Agrícola tiene un laboratorio designado para trabajar los proyectos, este laboratorio se encuentra dentro del taller Magrisa. El laboratorio es dirigido por el ingeniero de instrumentación y tiene a su cargo los proyectos que ejecutan el equipo, siendo

la autoridad inmediata con quien se coordinó ideas y dudas a resolver relacionadas con el proyecto.

Al presentar los resultados con el sistema transductor ya instalado en la máquina alzadora 2254 John Deere, el jefe del Departamento de Agricultura de Precisión se presentaba al taller Magrisa, para observar los logros y aportar sugerencias, por su relación y experiencia del ámbito laboral con el área donde se utilizan las máquinas alzadoras.

CONCLUSIONES

1. Con este proyecto el Ingenio Magdalena S. A. generará mayores beneficios en la productividad e industrialización de la caña de azúcar al obtener datos de la ubicación geográfica de donde se realiza cada uñada, por la máquina alzadora SP 2254 John Deere, datos que proporcionarán información de forma inmediata para la toma de decisiones, así como en un futuro la posibilidad de elaborar mapas de productividad del suelo de las diferentes áreas de terreno cultivado con caña de azúcar del Ingenio Magdalena S. A.
2. El Ingenio Magdalena S. A. tendrá la posibilidad de monitorear la maquinaria para el alce de la cosecha manual de la caña de azúcar, por medio de las lecturas de las variables de la máquina alzadora SP 2254 John Deere, como el nivel de combustible, las revoluciones por minuto del motor, el nivel de carga de la batería, la lectura del horómetro digital (que brinda el sistema electrónico desarrollado por el equipo técnico-profesional de Automatización Agrícola), las que aportan un gran valor para construir una telemetría de la máquina alzadora.
3. Actualmente, el Ingenio Magdalena S. A. cuenta con diferentes medios de apoyo para el uso adecuado del sistema electrónico y de la aplicación móvil, así como para el mantenimiento de este sistema.

4. Debido a que la lectura de movimientos se lleva a cabo por sensores que funcionan como interruptores, el sistema electrónico puede adaptarse al uso de otros sensores que funcionen de la misma manera o bien interruptores con la finalidad de homologar en la otra alzadora de caña que posee el Ingenio Magdalena, S. A., que es la SP 1850 John Deere.
5. La producción de los videos tutoriales fueron herramientas de apoyo bastante apropiadas para la orientación a los operadores de las máquinas alzadoras, supervisores y coordinadores de alce, del uso de la aplicación móvil y la *tablet*, herramientas que resultaron ser estratégicas y de suma utilidad en situaciones críticas, como la afrontada por la pandemia del COVID-19.

RECOMENDACIONES

1. Solicitar desde el Departamento de Agricultura y Precisión del Ingenio Magdalena S. A. la adquisición de un sensor GLTV7, con la característica que sea de un largo mayor, ya que logrará medir toda la altura del fondo del tanque de combustible, ya que con el sensor actual no se logra medir en su totalidad la altura del fondo y esto deriva que hay una parte del combustible que no se puede medir.
2. Cambiar la forma en que se toma la lectura de las revoluciones por minuto del motor, por un sensor dedicado a la lectura de las revoluciones que realiza el cigüeñal, puede ser un sensor óptico o magnético, como el sensor de efecto Hall, utilizado para la detección de los movimientos; porque el alternador puede presentar alguna falla o degradación de la señal que entrega en el terminal W, aumentando el error en la lectura de las revoluciones por minuto.
3. Colocar un sensor dedicado en el cigüeñal de la máquina alzadora, la lectura del terminal W del alternador y seguir tomando y compararla con la de este sensor, además, un estudio que, si llega a darse variación entre las dos medidas, se detectaría algún fallo que esté sucediendo en el alternador y proporcionar el mantenimiento oportuno.
4. Continuar con el proceso de capacitación a los operadores de la maquinaria antes de iniciar el periodo de zafra, a efecto de realimentar y orientar sobre el manejo y funcionamiento del equipo.

5. Considerar el estudio de la viabilidad de implementar un dispositivo que realice la función de pesar la caña de azúcar que levanta la garra al momento de realizar una uñada, si es viable con este dispositivo, también, se podría reestructurar el algoritmo para la detección del alce de la caña de azúcar.
6. Utilizar presostato para detectar que la garra esté abierta, ya que la presión que pasa por las mangueras de la palanca de mandos que se utiliza para abrir la garra no es lo suficiente para que el cambio en la salida de corriente del sensor MPM 489 sea significativo; y que permita detectar hasta un máximo de 300 μA , entre el valor, de cuando no se acciona la palanca de mandos y cuando sí se acciona para abrir la garra.

REFERENCIAS

1. Arduino C. C. (2015). *Software biblioteca de serie*. Recuperado de <https://www.arduino.cc/en/Reference/SoftwareSerial>.
2. CELMI. (2020). *MPM48*. Recuperado de <https://www.celmi.com/eng/products/pressure-sensors/mpm489-3073.html>.
3. Meneses, A. CENGICANA. (2017). *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. Artemis Edinter, 2014. Capítulo XII. *La cosecha de caña de azúcar* Recuperado de. <https://cengicana.org/files/20170103101309141.pdf>.
4. Chacón Benito, M. (2015). *Implementación del apilador tipo trineo en cargadora de caña de azúcar en Ingenio la Unión, Escuintla 2006-2008*. Recuperado de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2015/06/17/Chacon-Manuel.pdf>.
5. Chávez, L. (2019). *Transistores de efecto de campo. Tema 7*. Recuperado de https://www.academia.edu/13115304/Tema_7_Transistores_de_Efecto_de_Campo_TRANSIST.
6. Conadesuca. (2015). *Mecanismos de transporte de la caña de azúcar*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114371/Nota_Tcnica_Informativa

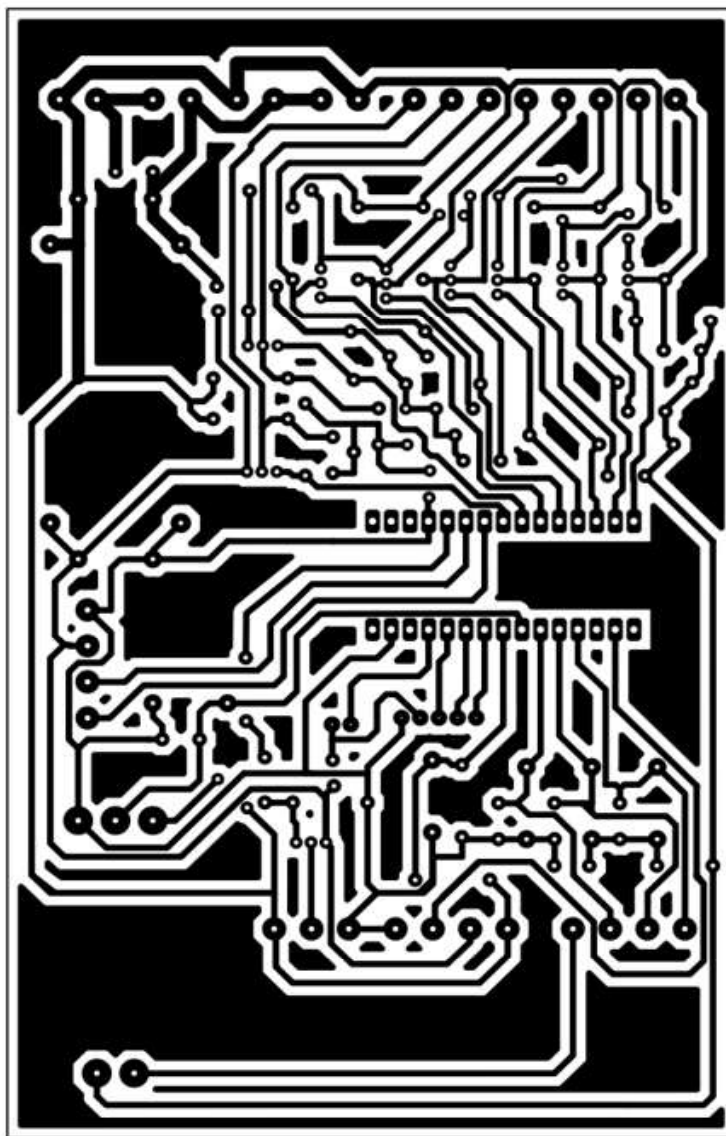
7. ECURED. (2015). *Transductor*. Recuperado de <<https://www.ecured.cu/Transductor>>
8. Fernández, G. (2005) *Sensores magnéticos e inductivos*. Recuperado de <<https://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Sensores%20magneticos.pdf>>.
9. Fernández, J. (2014) *Ley de Lorentz*. Recuperado de <<https://www.fisicalab.com/apartado/ley-de-lorentz>>.
10. Forouzan, Behrouz. (2003). *Transmisión de datos y redes de comunicaciones*, 2da ed. McGraw-Hill/ Interamericana de España, 2002. Recuperado de <<https://www.mhe.es/universidad/informatica/forouzan/home/capitulo06.pdf>>.
11. García, V. (2012). *El transistor MOSFET*. Recuperado de <<https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/el-transistor-mosfet>>.
12. Gavin. (2017). *GAMICOS*. Recuperado de <<http://www.gavincc.com/gamicos/category-3/85.html>>.
13. Guerra Carmenate, J. (2020). *Arduino Nano il capo de la familia Arduino Nano*. Recuperado de <<https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/familia-arduino-nano/>>.
14. Hareendran, T. K. (2019). *The NJK-5002C Hall-Effect Sensor Proximity Switch*. Recuperado de < <https://www.codrey.com/electronic-circuits/the-njk-5002c-hall-effect-sensor-proximity-switch/>>.

15. Hidra[matic]. (2015). *Presostato*. Recuperado de <https://www.hidramatic.com/es/pressureswitch/suco/0196459031009>.
16. Hurtado Loaiza, O. (2016). *Diseño de un sistema de medición para estimar el peso de la caña en el proceso de alce*. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/84108747.pdf>.
17. Ingenio Magdalena S. A. (2022). *Historia*. Recuperado de <https://www.imsa.com.gt/historia.html>.
18. Ingenio Magdalena, S. A. (2022) *Quiénes somos*. Recuperado de https://www.imsa.com.gt/quienes_somos.html.
19. Jaramillo, V. (2016). *Leal, L. F. El CEO de la expansión de Ingenio Magdalena S. A.* Recuperado de <https://www.estrategiaynegocios.net/lasclavesdeldia/994790-330/luis-fernando-leal-el-ceo-de-la-expansi%C3%B3n-de-ingenio-magdalena>.
20. Llamas, L. (2018). *Implementar una máquina de estados finitos en Arduino*. Recuperado de <https://www.luisllamas.es/maquina-de-estados-finitos-arduino/>.
21. Llamas, L. (2018). *Librería de Arduino Statemachine*. Recuperado de <https://www.luisllamas.es/libreria-arduino-state-machine/>.

22. Llamas, L. (2016). *Qué son y cómo usar interrupciones en Arduino*. Recuperado de <https://www.luisllamas.es/que-son-y-como-usar-interrupciones-en-arduino/>.
23. Palacios Chapetón, E. V. (2014). *Experiencias profesionales adquiridas en el proceso de cosecha de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.)*. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/22/22_0253.pdf.
24. Pérez, Y. (2020). *Sensores capacitivos*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=LeXYCCWdwBo>.
25. Ruiz García, I. (2012) *Diseño de los procesos y reorganización administrativa de los movimientos logísticos y plan de contingencia ante desastres naturales del Ingenio Magdalena, S. A.* Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2610_IN.pdf.
26. 13 en Ingeniería. (2020). *¿Sensores, transductores o transmisores?* Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=xTpjIFhwiHM>.

APÉNDICES

Apéndice 1. Circuito PCB



Fuente: elaboración propia, realizado con *software* Proteus.

Apéndice 2. Código fuente del microcontrolador Arduino Nano

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include "StateMachineLib.h"

//variable para la uñada
int completado=0;
char sendet;
int envtu =0;

// Medición de carga de la batería
int valor = 0;
int voltaje = 0;

//Sensores
#define sensorRPM 2
#define sensorDiésel A0
#define sensorTemp A1
#define sensorPresión A3
#define sensorAceite A2
#define sensorCarga A4

//sensores Hall para añudas y sensor de presión
#define halld 5
#define hallu 6
#define hallr 7
#define halll 8
#define hallR 9
#define hallL 10
#define sengarra 12

#define rxPin 3
#define txPin 4
```

Continuación del apéndice 2.

```
SoftwareSerial PlacaDos(rxPin,txPin);
```

```
int tiempoextrat=0;// Variable para darle un tiempo extra a la trama de telemetría, por si se junta  
con la trama de uñada
```

```
int envtmov=0; //Variable para indicar que se envíe la trama de movimientos
```

```
int mov=0;
```

```
//RPM
```

```
unsigned long contadorRev=0; //Contador de revoluciones
```

```
unsigned long rpm=0; //Revoluciones por minuto
```

```
unsigned long tiempo0; //Tiempo inicial
```

```
unsigned long tiempo1; //Tiempo t0+T
```

```
int periodo=0; //periodo de tiempo en que tarda en dar n revoluciones
```

```
//mediciones variables
```

```
float valorDiésel;
```

```
float carga;
```

```
float diésel;
```

```
//Variables de tiempo
```

```
unsigned long tiempoT0; //tiempo inicial
```

```
unsigned long tiempoT1; //tiempo T0+T
```

```
unsigned long tiempoTM0; //Tiempo inicial
```

```
unsigned long tiempoTM1; //tiempo TM0+T
```

```
unsigned long tiempoTU0; //Tiempo inicial
```

```
unsigned long tiempoTU1; //tiempo TU0+T
```

```
//Variables de movimientos
```

```
int lastHalld=0;
```

```
int lastHallu=0;
```

```
int lastHallr=0;
```

```
int lastHalll=0;
```

Continuación del apéndice 2.

```
int lastHallR=0;
int lastHallL=0;
int lastsengarra=0;

//Máquina de estados
char sensorAnterior;
char sensorActual;
char estadoActual;

// Enumeraciones para facilitar el uso
enum State
{
    PosNula = 0,
    PosPlumAbajo = 1,
    PosPlumArriba = 2,
    PosGiro1 = 3,
    PosGiro2 = 4,
    PosUnada = 5
};

enum Input
{
    Reset = 0,
    Forward = 1,
    Backward = 2,
    Unknown = 3,
};

// creación de una nueva máquina de estados, de 6 estados, 15 posibles transiciones
StateMachine stateMachine(6, 15);
//almacena la última entrada del usuario
Input;
```

Continuación del apéndice 2.

```
//configuración de la máquina de estados
void setupStateMachine()
{
    //agrega las transiciones
    stateMachine.AddTransition(PosNula, PosPlumAbajo, []() { return input == Forward; });

    stateMachine.AddTransition(PosPlumAbajo, PosNula, []() { return input == Backward; });
    stateMachine.AddTransition(PosPlumAbajo, PosPlumArriba, []() { return input == Forward; });
    stateMachine.AddTransition(PosPlumAbajo, PosNula, []() { return input == Reset; });

    stateMachine.AddTransition(PosPlumArriba, PosPlumAbajo, []() { return input == Backward; });
    stateMachine.AddTransition(PosPlumArriba, PosGiro1, []() { return input == Forward; });
    stateMachine.AddTransition(PosPlumArriba, PosNula, []() { return input == Reset; });

    stateMachine.AddTransition(PosGiro1, PosPlumArriba, []() { return input == Backward; });
    stateMachine.AddTransition(PosGiro1, PosGiro2, []() { return input == Forward; });
    stateMachine.AddTransition(PosGiro1, PosNula, []() { return input == Reset; });

    stateMachine.AddTransition(PosGiro2, PosGiro1, []() { return input == Backward; });
    stateMachine.AddTransition(PosGiro2, PosUnada, []() { return input == Forward; });
    stateMachine.AddTransition(PosGiro2, PosNula, []() { return input == Reset; });

    stateMachine.AddTransition(PosUnada, PosGiro2, []() { return input == Backward; });
    stateMachine.AddTransition(PosUnada, PosNula, []() { return input == Reset; });

    //Configurar eventos de estado
    //agrega acciones
    stateMachine.SetOnEntering(PosNula, outputNula);
    stateMachine.SetOnEntering(PosPlumAbajo, outputPlumAbajo);
    stateMachine.SetOnEntering(PosPlumArriba, outputPlumArriba);
    stateMachine.SetOnEntering(PosGiro1, outputGiro1);
    stateMachine.SetOnEntering(PosGiro2, outputGiro2);
}
```

Continuación del apéndice 2.

```
stateMachine.SetOnEntering(PosUnada, outputUnada);

stateMachine.SetOnLeaving(PosNula, []() {Serial.println("Dejando posición nula"); });
stateMachine.SetOnLeaving(PosPlumAbajo, []() {Serial.println("Dejando posición pluma abajo");
});
stateMachine.SetOnLeaving(PosPlumArriba, []() {Serial.println("Dejando posición pluma
arriba"); });
stateMachine.SetOnLeaving(PosGiro1, []() {Serial.println("Dejando posición giro 1"); });
stateMachine.SetOnLeaving(PosGiro2, []() {Serial.println("Dejando posición giro 2"); });
stateMachine.SetOnLeaving(PosUnada, []() {Serial.println("Dejando posición uñada"); });
}

void setup() {

  Serial.begin(9600);
  delay(100);
  PlacaDos.begin(9600);
  delay(100);
  Serial.println("Starting State Machine...");
  setupStateMachine();
  Serial.println("Start Machine Started");
  stateMachine.SetState(PosNula,false,true);

  //RPM
  pinMode(sensorRPM,INPUT); //Declara el pin 2 como entrada digital
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorRPM), processRPM, RISING); //Asigna el pin 2 como
interrupción y manda a la función cuenta ISR, interrupción en flanco de subida
  tiempo0=millis(); //Asigna el tiempo inicial
  tiempoT0=millis();

  //Movimientos
  pinMode(hallId,INPUT);
```

Continuación del apéndice 2.

```
pinMode(hallu,INPUT);
pinMode(hallr,INPUT);
pinMode(halll,INPUT);
pinMode(hallR,INPUT);
pinMode(hallL,INPUT);
pinMode(sengarra,INPUT);

}

void loop() {

    tiempo1=millis(); //Contando el valor del tiempo para las RPM
    tiempoT1=millis(); //Contando el valor del tiempo para la trama de telemetría

    // lee cuantas interrupciones se tuvieron en un 1 segundo, para las RPM
    if(tiempo1-tiempo0 >= 999){
        rpm= 3.6969*contadorRev-7.42;
        if(rpm >= 6000){
            rpm = 0;
        }
        Serial.println("_____");
        Serial.print("Rev      :");
        Serial.println(contadorRev);
        Serial.print("Periodo  :");
        Serial.println(tiempo1-tiempo0);
        Serial.print("RPM      :"); // Como son dos interrupciones por vuelta (contador * (60/2))
        Serial.println(rpm); // El número 2 depende del número aspas de la hélice del motor en prueba
        contadorRev=0;
        tiempo0=millis(); //actualiza el tiempo inicial
    }
}
```

Continuación del apéndice 2.

```
/*Se actualiza el vector de movimientos
 *Y se actualiza la máquina de estados
 */
input = static_cast<Input>(readInput());
//Actualizando máquina
stateMachine.Update();

mediciones variables();
/*Se actualizan las variables:
*valorDiésel;
*presión;
*carga;
*El valor de rpm se actualiza con la interrupción*/

if(estadosActual=='G'){
    tiempoextrat=3000;
}
//Envío de trama cada 60 segundos
if(tiempoT1-tiempoT0 >= 5800+tiempoextrat){
    Serial.print("tiempo extra: ");
    Serial.println(tiempoextrat);
    Serial.print("tiempo transcurrido para trama: ");
    Serial.println(tiempoT1-tiempoT0);
    PlacaDos.print("T");    //Inicia la trama de telemetría
    PlacaDos.write(",");
    PlacaDos.print(rpm);    //revoluciones por minuto
    PlacaDos.write(",");
    PlacaDos.print(Diesel,1); //valor del sensor de diésel de 0 a 1023
    PlacaDos.write(",");
    PlacaDos.print(carga); //Carga de la batería
    PlacaDos.write(",");
    PlacaDos.print("0");    //Nivel de aceite
```


Continuación del apéndice 2.

```
PlacaDos.write(",");
PlacaDos.print("0"); //Temperatura
PlacaDos.write(",");
PlacaDos.print("0"); //Presión según sensor
PlacaDos.write(",");
PlacaDos.println("#");
//Serial.println("");
PlacaDos.flush(); //Limpia el buffer serial

Serial.print("T"); //Inicia la trama de telemetría
Serial.write(",");
Serial.print(rpm); //revoluciones por minuto
Serial.write(",");
Serial.print(Diesel,1); //valor del sensor de diésel de 0 a 1023
Serial.write(",");
Serial.print(valorDiesel); //valor del sensor de diésel de 0 a 1023
Serial.write(",");
Serial.print(carga); //Carga de la batería
Serial.write(",");
Serial.print(contadorRev); //Nivel de aceite
Serial.write(",");
Serial.print("0"); //Temperatura
Serial.write(",");
Serial.print("0"); //Presión según sensor
Serial.write(",");
Serial.println("#");
//Serial.flush(); //Limpia el buffer serial

tiempoT0=millis();
}
```

Continuación del apéndice 2.

```
/*
 * Envío de datos cada 60 segundos
 */
}

int readInput(){

    Input currentInput = Input::Unknown;

    int actualHalld=0;
    int actualHallu=0;
    int actualHallr=0;
    int actualHalll=0;
    int actualHallR=0;
    int actualHallL=0;
    int actualsengarra=0;

    actualHalld=digitalRead(halld);
    actualHallu=digitalRead(hallu);
    actualHallr=digitalRead(hallr);
    actualHalll=digitalRead(halll);
    actualHallR=digitalRead(hallR);
    actualHallL=digitalRead(hallL);
    actualsengarra=digitalRead(sengarra);

    if((envtu == 1)){
        tiempoTU1=millis();
        if(tiempoTU1-tiempoTU0 >= 2300){
            PlacaDos.print("U"); //Inicia trama de uñadas
            PlacaDos.write(",");
            PlacaDos.print("1");
            PlacaDos.write(",");
            PlacaDos.print(completado); //número de uñadas
```

Continuación del apéndice 2.

```
PlacaDos.write(",");
PlacaDos.println("#");
PlacaDos.flush();
Serial.print("U"); //Inicia trama de uñadas
Serial.write(",");
Serial.print("1");
Serial.write(",");
Serial.print(completado); //número de uñadas
Serial.write(",");
Serial.println("#");
//Serial.flush();
envtu = 0;
currentInput = Input::Reset; //Se cambia al estado A.
tiempoTU0=millis();
}
//completado=completado+1;
}

if((actualHalId == LOW)&&(estadoActual=='A')){ //Estado nulo
    currentInput = Input::Forward; //Se cambia a estado pluma abajo
    sendet = 'd'; //sensor detectado
    envtmov=1;
    tiempoTM0=millis();
}
else if((actualHalId ==
LOW)&&((estadoActual=='D')||((estadoActual=='E')||((estadoActual=='F'))){ //Estado pluma arriba
    stateMachine.SetState(PosPlumAbajo, false, true);
    sendet = 'd'; //sensor detectado
    envtmov=1;
    tiempoTM0=millis();
}
```

Continuación del apéndice 2.

```
if(actualsengarra != lastsengarra){
    if((actualsengarra ==HIGH)&&(estadoActual=='F')){
        if(mov == 3){
            currentInput = Input::Forward; // Se cambia a estado garra abierta o uñada
            envtu = 1;
        }
        sendet = 'o';
        envtmov=1;
        tiempoTM0=millis();
    }
    else if((actualsengarra ==LOW)&&(estadoActual=='D')){
        if(mov == 3){
            stateMachine.SetState(PosUnada, false, true); //Se cambia a estado pluma arriba
            envtu = 1;
        }
        sendet = 'o';
        envtmov=1;
        tiempoTM0=millis();
    }
}

if(actualHallu != lastHallu){
    if((actualHallu == LOW)&&(estadoActual=='B')){ //Estado pluma abajo
        currentInput = Input::Forward; //Se cambia a estado pluma arriba
        mov=mov+1;
        sendet = 'u';
        envtmov=1;
        tiempoTM0=millis();
    }
    else if((actualHallu == LOW)&&(estadoActual=='E')){ //Estado giro 1
        stateMachine.SetState(PosPlumArriba, false, true); //Se cambia a estado pluma arriba
        mov=mov+1;
    }
}
```

Continuación del apéndice 2.

```
    sendet = 'u';
    envtmov=1;
    tiempoTM0=millis();
}
else if((actualHallu == LOW)&&(estadoActual=='F')){//estado giro 2
    stateMachine.SetState(PosPlumArriba, false, true);//Se cambia a estado pluma arriba
    mov=mov+1;
    sendet = 'u';
    envtmov=1;
    tiempoTM0=millis();
}
}

if(actualHallr != lastHallr){
    if((actualHallr == LOW)&&(estadoActual=='D')){ //Estado pluma arriba
        currentInput = Input::Forward; //Se cambia a estado giro 1 derecha(right)
        mov=mov+1;
        sendet = 'r';
        envtmov=1;
        tiempoTM0=millis();
    }
    else if((actualHallr == LOW)&&(estadoActual=='B')){// estado pluma abajo
        stateMachine.SetState(PosGiro1, false, true); //Se cambia a estado giro 1 derecha(right)r
        mov=mov+1;
        sendet = 'r';
        envtmov=1;
        tiempoTM0=millis();
    }
}

if(actualHalll != lastHalll){
    if((actualHalll == LOW)&&(estadoActual=='D')){ //estado pluma arriba
```

Continuación del apéndice 2.

```
currentInput = Input::Forward; //Se cambia a estado giro 1 izquierda(left)
mov=mov+1;
sendet = 'l';
envtmov=1;
tiempoTM0=millis();
}
else if((actualHall == LOW)&&(estadoActual=='B')){// estado pluma abajo
stateMachine.SetState(PosGiro1, false, true); //Se cambia a estado giro 1 izquierda(left)
mov=mov+1;
sendet = 'l';
envtmov=1;
tiempoTM0=millis();
}
}

if(actualHallR != lastHallR){
if((actualHallR == LOW)&&(estadoActual=='E')&&(sendet=='r')){ //Estado giro 1
currentInput = Input::Forward; //Se cambia a estado giro 2 derecha(right)
mov=mov+1;
sendet = 'R';
envtmov=1;
tiempoTM0=millis();
}
else if((actualHallR == LOW)&&(estadoActual=='D')){// estado pluma arriba
stateMachine.SetState(PosGiro2, false, true); //Se cambia a estado giro 2 derecha(right)R
mov=mov+1;
sendet = 'R';
envtmov=1;
tiempoTM0=millis();
}
}
}
```

Continuación del apéndice 2.

```
if(actualHallL != lastHallL){
  if((actualHallL == LOW)&&(estadoActual=='E')&&(sendet=='I')){ //Estado giro 1
    currentInput = Input::Forward; //Se cambia a estado giro 2 izquierda(LEFT)
    mov=mov+1;
    sendet = 'L';
    envtmov=1;
    tiempoTM0=millis();
  }
  else if((actualHallL == LOW)&&(estadoActual=='D')){// estado pluma arriba
    stateMachine.SetState(PosGiro2, false, true);//Se cambia a estado giro 2 izquierda(left)
    mov=mov+1;
    sendet = 'L';
    envtmov=1;
    tiempoTM0=millis();
  }
}

if((envtmov == 1)&&((envtu == 0)|| (sendet=='o'))){
  tiempoTM1=millis();
  if(tiempoTM1-tiempoTM0 >= 1050){
    PlacaDos.print("M"); //Inicia trama de movimientos
    PlacaDos.write(",");
    PlacaDos.print(sendet); // Sensor detectado
    PlacaDos.write(",");
    PlacaDos.println("#");
    PlacaDos.flush();
    Serial.print("M"); //Inicia trama de movimientos
    Serial.write(",");
    Serial.print(sendet); // Sensor detectado
    Serial.write(",");
    Serial.println("#"); //Final de la trama
    envtmov=0;
  }
}
```

Continuación del apéndice 2.

```
        tiempoTM0=millis();
    }
}

lastHalld=actualHalld;
lastHallu=actualHallu;
lastHallr=actualHallr;
lastHalll=actualHalll;
lastHallR=actualHallR;
lastHallL=actualHallL;
lastsengarra=actualsengarra;

if (Serial.available())
{
    char incomingChar = Serial.read();

    switch (incomingChar)
    {
        case 'R': currentInput = Input::Reset; break;
        case 'A': currentInput = Input::Backward; break;
        case 'D': currentInput = Input::Forward; break;
        default: break;
    }
}

return currentInput;
}

// Funciones de salida auxiliar que muestran el estado de depuración
void outputNula(){
    estadoActual='A';
    Serial.print("Movimientos realizados: ");
```


Continuación del apéndice 2.

```
Serial.println(mov);
Serial.print("Estado actual: nulo:   ");
Serial.println(estadoactual);

}

void outputPlumAbajo(){
    estadoActual='B';
    mov=0;
    Serial.print("Movimientos realizados: ");
    Serial.println(mov);
    Serial.print("Estado actual: pluma baja:  ");
    Serial.println(estadoactual);
}

void outputPlumArriba(){
    estadoactual='D';
    Serial.print("Movimientos realizados: ");
    Serial.println(mov);
    Serial.print("Estado actual: pluma arriba:  ");
    Serial.println(estadoActual);
}

void outputGiro1(){
    estadoactual='E';
    Serial.print("Movimientos realizados: ");
    Serial.println(mov);
    Serial.print("Estado actual: Giro 1:  ");
    Serial.println(estadoactual);
}
```

Continuación del apéndice 2.

```
void outputGiro2(){
    estadoActual='F';
    Serial.print("Movimientos realizados: ");
    Serial.println(mov);
    Serial.print("Estado actual: giro 2:  ");
    Serial.println(estadoActual);
}
```

```
void outputUnada(){
    estadoActual='G';
    Serial.print("Movimientos realizados: ");
    Serial.println(mov);
    Serial.println(estadoActual);
    Serial.println("Abre garra *UÑADA*");
    completado=completado+1;
    Serial.println("Uñada contabilizada");
    tiempoTU0=millis();
}
```

```
void medicionesVariables(){

    float valorCarga;

    valorDiésel=analogRead(sensor diésel);
    valorCarga=analogRead(sensorcarga);

    carga=2.6429*valorCarga-6.48;
    Diésel=((valorDiésel*69)/1023)+21)*87.5*39.5*0.000264;

}
```

Continuación del apéndice 2.

```
void processRPM(){

    contadorRev = contadorRev+1;
    //RPM
}
```

Fuente: elaboración propia, realizado con *software* Arduino.

Apéndice 3. Listado de materiales y presupuesto

El precio que tiene cada material es el costo ya dentro del Ingenio Magdalena S. A.

| SAP | Descripción | Cantidad | Precio | Total |
|----------|--|----------|----------|----------|
| 14046177 | Conector circular 9 macho p/soldar | 2 | Q 126.46 | Q 252.92 |
| 14046178 | Conector circular 9 hembra | 2 | Q 122.00 | Q 244.00 |
| 14043497 | Arduino Nano V3.0 | 1 | Q 130.00 | Q 130.00 |
| 14042797 | Módulo convertidor DC 3V-40V A 1.5-35V | 1 | Q 115.35 | Q 115.35 |
| 14043670 | Regulador d/voltaje 5VDC | 1 | Q 59.45 | Q 59.45 |
| 14044491 | Transistor 2N7000 | 9 | Q 8.42 | Q 75.78 |
| 14044483 | Block d/terminal 3 pines | 3 | Q 8.65 | Q 25.95 |
| 14044484 | Block d/terminal 2 pines | 11 | Q 8.65 | Q 95.15 |
| 14045181 | Diodo Zener 5.1V 1/4W | 6 | Q 5.00 | Q 30.00 |
| 14043668 | Módulo d/tensión corriente 5V | 1 | Q 41.24 | Q 41.24 |
| 14044542 | Porta fusible FH043 10A | 1 | Q 11.62 | Q 11.62 |
| 14044481 | Conector header 40 pin macho-macho | 1 | Q 6.38 | Q 6.38 |
| 14045235 | Diodo 1N4004 400V 1A | 1 | Q 5.00 | Q 5.00 |

Continuación del apéndice 3.

| | | | | |
|----------|--|----|----------|------------|
| 18005231 | Papel couché hoja t/carta | 2 | Q 0.75 | Q 1.50 |
| 14045236 | Capacitor cerámico 100nF
104 | 13 | Q 2.50 | Q 32.50 |
| 14046179 | Resistencia 227KΩ 1/4W | 1 | Q 2.00 | Q 2.00 |
| 14045390 | Resistencia 100KΩ 1/4W | 9 | Q 1.00 | Q 9.00 |
| 14044531 | Resistencia 10KΩ 1/4-Watt
carbon | 9 | Q 2.96 | Q 26.64 |
| 14043678 | Sensor de nivel de
combustible GLTV7 | 1 | Q 723.22 | Q 723.22 |
| 14039207 | NJK-5002C sensor efecto
hall NPN 3 cables | 6 | Q 90.38 | Q 542.28 |
| 14042798 | Transmisor presión MPM
489 100Mpa | 1 | Q 948.28 | Q 948.28 |
| 14046181 | Caja d/aluminio | 1 | Q 400.00 | Q 400.00 |
| 14046182 | Cable 22 AWG 12C 12 hilos | 15 | Q 5.00 | Q 75.00 |
| 16006496 | Cinta para aislar 33 | 1 | Q 32.09 | Q 32.09 |
| 14013963 | Tubo flexible lt d/1/2" c/forro | 15 | Q 2.96 | Q 44.40 |
| 14018560 | Terminal d/pin p/cable # 18 | 18 | Q 0.63 | Q 11.34 |
| TOTAL | | | | Q 3,941.09 |

Fuente: elaboración propia