

Año 2024 Desarrollo de un sistema de acondicionamiento de señal para determinar
elementos en un sistema de clasificación para botellas PET post-consumo. Autor: Javier Iván Luna Ramos



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE
ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL PARA DETERMINAR
ELEMENTOS EN UN SISTEMA DE CLASIFICACIÓN
PARA BOTELLAS PET POST-CONSUMO

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Ingeniero en Automatización

Presenta

Javier Iván Luna Ramos

Dirigido por:

Luis Alberto Ángeles Hurtado

Querétaro, Qro. Febrero 2024

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Licenciatura en Ingeniería

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL PARA
DETERMINAR ELEMENTOS EN UN SISTEMA DE CLASIFICACIÓN PARA
BOTELLAS PET POST-CONSUMO

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Ingeniero en Automatización

Presenta:

Javier Iván Luna Ramos

Dirigido por:

Luis Alberto Ángeles Hurtado

Dr. Luis Alberto Ángeles Hurtado
Presidente

Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz
Secretario

Mtro. José Luis Avendaño Juárez
Vocal

M.I. Juan Pablo Ramírez Vázquez
Suplente

Dr. Hugo Torres Salinas
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Febrero 2024
México

DEDICATORIAS

A mis amigos que formaron parte antes, durante y después de esta etapa de mi vida y con dedicatoria especial a mi familia, mis padres y mi pareja que me apoyaron en todo momento en la medida de lo posible.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Querétaro, institución que me preparó durante 5 años para seguir adelante con mi vida como un profesionalista; a mi papá Javier Luna Martínez y mi mamá Norma Ramos Olvera que siempre me demostraron su apoyo y me impulsaron a seguir adelante sin importar la situación en que me y nos encontremos; a mi familia y amigos que de una u otra forma me ayudaron a lo largo de este proceso y a mi pareja Karla Marlene Paz Martínez que me apoyo durante esta etapa de mi vida, les doy mis agradecimientos de la manera más sincera. De manera particular agradezco al Mtro. José Luis Avendaño Juaréz, al Dr. Juvenal Rodríguez Resendíz y al Dr. Luis Alberto Ángeles Hurtado, así como al resto de mis sinodales, por el apoyo desinteresado durante el desarrollo de esta tesis.

ÍNDICE

Dedicatorias	I
Agradecimientos	II
Índice	III
Índice de tablas	VI
Índice de figuras	VII
Abreviaturas	VIII
Resumen	XI
Abstract	XII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	4
III. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	6
IV. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
. Metodologías para el diseño y el desarrollo de tecnología	8
. Sistemas actuales de clasificación para botellas de plástico	9
. Tendencias recientes para mejorar la detección en los plásticos reciclables	10
. Sensores para la identificación de polímeros	11
. Sistema de acondicionamiento de señal	11
. Procesamiento de los datos de los sensores	12
. Premisas para identificar los elementos de un sistema de clasificación de botellas de plástico	13
V. HIPÓTESIS	14
VI. OBJETIVO	15
. Objetivos específicos	15

VII. METODOLOGÍA	16
. Diseño del sistema de acondicionamiento de señal para el diodo de InGaAs mediante el diodo BPW21R	16
. Definición del mensurando para la medición de la longitud de onda con el diodo InGaAs	16
. Justificación de una metodología para los elementos eléctricos y electrónicos del sistema	17
. Justificación para el desarrollo de un sistema de acondicionamiento de señal para el diodo de InGaAs	17
. Determinación de una metodología mediante las características del diodo InGaAs para seleccionar los elementos mecánicos	18
. Diseño de experimentos con la interacción de todos los factores a controlar	19
VIII.RESULTADOS	20
. Diseño del sistema de acondicionamiento de señal para el diodo de InGaAs mediante el diodo BPW21R	20
. Definición del mensurando para la medición de la longitud de onda con el diodo InGaAs	23
. Justificación de una metodología para los elementos eléctricos y electrónicos del sistema	24
. BPW21R como método de aproximación al comportamiento del diodo InGaAs	24
. Justificación para implementar un amplificador de transimpedancia	26
. Metodología aplicada para el desarrollo de pruebas en el fotodiodo BPW21R	27
. Primera etapa: Diseño	27
. Segunda etapa: Implementación	29
. Tercera etapa: Ejecución	31
. Justificación de los componentes seleccionados para el sistema de acondicionamiento de señal	31
. Etapa 1: ESP-WROOM-32 y ADS1115 como medios de captura y procesamiento	31
. Etapa 2: Alimentación del acondicionador de señal	32
. Etapa 3: Amplificador de trasimpedancia	32
. Etapa 4: Comparador unitario	34

.	Etapa 5: Comparadores en configuración de doble limite	35
.	Etapa 6: Implementación de un PCB para el circuito	36
.	Banco de pruebas y diseño de pruebas preliminares	39
.	Determinación de una metodología mediante las características del diodo InGaAs para seleccionar los elementos mecánicos	41
.	Diseño eléctrico del sistema de clasificación	41
.	Programa de arranque de motores	44
IX.	DISCUSIÓN	60
.	Trabajos futuros	61
.	Análisis de componentes principales para la identificación de los elementos	61
.	Diseño de experimentos con la interacción de todos los factores a controlar	61
X.	CONCLUSIONES	64
XI.	REFERENCIAS	65
A.	Apéndice	69
B.	Apéndice	78
C.	Apéndice	79
D.	Apéndice	81
E.	Apéndice	83

ÍNDICE DE TABLAS

1.	Símbolos para identificar el tipo de plástico reciclado [Ramli et al., 2008].	8
2.	Sistemas comerciales para la clasificación de diferentes tipos de plásticos reciclables [Ángeles-Hurtado et al., 2021].	12
3.	Características de la serie G10899 [KK, 2015].	22
4.	Características de la serie G12180 [KK, 2015].	23
5.	Características eléctricas del fotodiodo BPW21R [Vishay, 2006].	25
6.	Características ópticas del fotodiodo BPW21R [Vishay, 2006].	25
7.	Ancho de la pista del PCB [Altium, 2019].	39
8.	motor_DB[DB1] y motor_DB.Dos[DB3]	45
9.	TestDB[DB2]	46
10.	Planteamiento del diseño de experimentos para determinar el rango de trabajo del sistema de identificación.	62
11.	Resumen del primer ANOVA de dos factores	63

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Proceso de recolección y reciclaje del PET [Flores, 2012]	8
2.	Ejemplo de un diagrama de flujo del proceso de clasificación de botellas de plástico [the Environment et al., 2008].	10
3.	Cámara fotográfica para la detección de botellas de color [Wang et al., 2019].	11
4.	Sistema mecánico de detección, (Elaboración propia).	18
5.	Factores y variables en el diseño de experimentos para la interacción de todo el sistema.	19
6.	Rango de operación de los fotodiodos InGaAs [KK, 2015].	21
7.	Rangos de detección de diodos construidos de InGaAs [KK, 2015].	22
8.	Diseño de un amplificador de transimpedancia.	26
9.	Propuesta previa a simulación del amplificador de trasimpedancia	28
10.	Diseño final para el amplificador de trasimpedancia.	30
11.	Diagrama de conexiones de la etapa 2 para el PCB	32
12.	Diagrama de conexiones de la etapa 3 para el PCB	34
13.	Diagrama de conexiones de la etapa 4 para el PCB	35
14.	Diagrama de conexiones de la etapa 5 para el PCB	36
15.	Capa superior del PCB	37
16.	Capa inferior del PCB	38
17.	Banco de pruebas para BPW21R	40
18.	Moto-reductor en el sistema mecánico.	41
19.	Diagrama de conexiones para el motor.	42
20.	Diagrama de conexiones de potencia.	43
21.	Pruebas de las conexiones en la etapa de potencia.	44
22.	Diseño de la página web con el <i>Servidor web</i>	47
23.	<i>Grafcet</i> utilizado para realizar el código del PLC.	48
24.	Diagrama de bloques del PLC para el servidor web.	49
25.	Descripción los bloques de código que controlan los motores.	50
26.	Red 1, inicialización del proceso y el <i>Servidor web</i> mediante el <i>First Scan</i> del PLC.	51
27.	Red 3, Esta función de bloque inicializa el servidor web de la CPU.	51
28.	Red 2, habilitador de los motores para proceder a su funcionamiento.	52
29.	Red 3 y 4, <i>Bloque de funciones</i> del motor 1 y 2 que contienen el control.	53
30.	Condiciones de activación para el bloque de función de los motores.	53

31.	Red 2 Acción paso cero si esta en alto indica que el motor esta listo para arrancar.	54
32.	Red 5, botón <i>Reset</i> para reiniciar el proceso.	54
33.	Red 1, <i>Bloque de funciones</i> del motor, habilitador	55
34.	Red 3 Transición del paso cero, la cual indica que si el botón de inicio esta activado todos los botones se habilitan para el accionamiento del motor.	55
35.	Red 2, Acción paso uno, con dos botones se acciona el motor para adelante o para atrás.	56
36.	Red 3, accionamiento del giro en sentido horario del motor, con bloqueo.	56
37.	Red 4 Acción paso uno, con dos botones se acciona el motor para adelante o para atrás.	57
38.	Red 4, accionamiento del giro en sentido anti-horario del motor, con bloqueo.	57
39.	Red 5, Transición paso uno, con esta red se define un botón de paro total o mejor conocido como paro de emergencia.	58
40.	Red 5 Acción uno, con dos botones se puede activar el motor con pulsos.	58
41.	Red 6 Transición paso uno, con esta red se define un botón de paro total o mejor conocido como paro de emergencia.	59

ABREVIATURAS

ADC	Convertidor analógico-digital
Buck Converter	Convertidor Reductor
CPU	Unidad Central de Procesamiento
DC-DC	Corriente directa a Corriente directa
F	F Relación
First Scan	Inicialización de variables en el PLC
FPGA	Matriz de puertas programables en campo
gl	Grados de libertad
HDPE	Polietileno de alta densidad
ID o id	Identificador único
IMER	Industria Mexicana de Reciclaje S.A. de C.V.
IoT	Internet de las cosas
JFET	Transistor de efecto de campo con unión
JPG	Grupo Conjunto de Expertos Fotográficos
LDA	Análisis discriminante lineal
LDPE	Polietileno de baja densidad
LED	Diodo emisor de luz
mils	Milésimas de pulgada
MOSFET	Transistor de efecto de campo metal-óxido semiconductor
MS	Cuadrado medio
mL	Mililitros
NC	Normalmente cerrada
NIR	Espectroscopia de infrarrojo cercano
OPAMP	Amplificador operacional
PCA	Análisis de componentes principales

PCB	Placa de circuito impreso
PET	Tereftalato de polietileno
PIC	Controlador de interfaz de periféricos
PLC	Controlador lógico programable
PP	Polipropileno
PVC	Cloruro de polivinilo
PS	Poliestireno
PWM	Modulación por ancho de pulso
SS	Suma de cuadrados
ThinkSpeak	Proveedor de servidores en línea
TIA	Amplificador de transimpedancia
TTL	Lógica Transistor - Transistor
WiFi	Fidelidad Inalámbrica

RESUMEN

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26

Actualmente el medio ambiente, la contaminación y el reciclaje son términos que han adquirido relevancia debido al constante crecimiento de la población mundial, esto conlleva al incremento en la demanda de productos que involucran el uso de materiales como plástico, papel, cartón, vidrio o aluminio generando más desechos, algunos reciclables y otros que no lo son. El trabajo presente enfatiza esta problemática desde el punto de vista de la ingeniería proponiendo una metodología que permita optar por elementos que funcionen adecuadamente como parte de un sistema, en este caso siendo enfocado al sistema de acondicionamiento de señal para un fotodiodo. Esto se logró por medio del análisis de metodologías previas, mayormente utilizadas en el sector automotriz, que combinadas permitieron obtener un objetivo y procedimiento de trabajo conciso para el desarrollo del sistema de acondicionamiento de señal. También se analizaron proyectos similares para obtener las capacidades de estos sistemas y sintetizar sus ventajas y desventajas, esto permitió delimitar los parámetros para que el sistema sea asequible. Los resultados muestran los criterios utilizados para la selección de los componentes, así como el comportamiento de estos de manera individual y en conjunto, el análisis del fotodiodo BPW21R permitió comprender su modo de operación con diferentes configuraciones, esto se refleja en que el diodo se polarizado inversamente dado que provoca que sea más sensible. Al final, queda claro que un sistema más robusto requiere de una mayor inversión, pero, con un criterio analítico, adquirido según un conjunto de procedimientos previamente desarrollados, se pueden obtener resultados adecuados para el enfoque deseado.

(Palabras clave: acondicionamiento de señal, asequible, clasificación de PET, metodología compuesta, reciclaje)

ABSTRACT

28 Currently, the environment, pollution and recycling are terms that have gai-
29 ned relevance due to the constant growth of the world's population, which leads to
30 an increase in demand for products that require the use of materials such as plastic,
31 paper, cardboard, glass or aluminum, generating more waste, some of which is recy-
32 clable and some of which is not. The present work emphasizes this problem from
33 an engineering point of view by proposing a methodology that allows the selection
34 of elements that function properly as part of a system, in this case focusing on the
35 signal conditioning system for a photodiode. This was achieved through the analy-
36 sis of previous methodologies, mostly used in the automotive sector, which together
37 allowed to obtain a concise objective and working procedure for the development
38 of the signal conditioning system. Similar projects were also analyzed in order to
39 obtain the capabilities of these systems and to synthesize their advantages and di-
40 sadvantages, which made it possible to delimit the parameters to make the system
41 affordable. The results show the criteria used for the selection of the components, as
42 well as the behavior of these elements individually and as a whole, the analysis of
43 the BPW21R diode allowed to understand its behavior and this is reflected in the fact
44 that the diode is inversely polarized, which makes it more sensitive. In the end, it is
45 clear that a more robust system requires a greater investment, but with an analytical
46 approach acquired according to a set of previously developed procedures, adequate
47 results can be obtained for the desired approach.

48

49 **(Key words:** signal conditioning, affordability, PET sorting, composite methodology,
50 recycling)

I. INTRODUCCIÓN

51

52 El presente documento data sobre una metodología que se propone llevar a
53 cabo para seleccionar los componentes y elementos que se pueden llegar a utilizar
54 para el diseño y experimentación de un sistema clasificador de botellas PET post-
55 consumo bajo la premisa de que debe tener un costo asequible para centros de aco-
56 pio. Para ello hay que entender primero cada uno de los términos involucrados. La
57 metodología es la *parte de la lógica que estudia los fundamentos y los métodos ge-
58 nerales de las disciplinas científicas*. Ahora, el método, según Descartes, se define
59 como las *reglas ciertas y fáciles gracias a las cuales quien las observe exactamente
60 no tomará nunca lo falso por lo verdadero, y llegará, sin gasto inútil del esfuerzo
61 de su espíritu, al verdadero conocimiento de todo aquello de que sea capaz, me-
62 diante un aumento gradual de su ciencia* [Quillet Arístides, 1974a]. Por otra parte,
63 un sistema se define como el conjunto de elementos que están ordenadamente re-
64 lacionados entre sí y contribuyen a determinado objetivo [Quillet Arístides, 1974b].
65 De esta definición se puede asumir que los elementos son las partes que compo-
66 nen a un sistema y que trabajan en conjunto para el funcionamiento del mismo.
67 Siguiendo esta analogía, un elemento se define como *la parte que, junto con otras,
68 constituye la base de una cosa o un conjunto de cosas materiales o inmateriales*
69 [OxfordLanguages, 2021].

70 Un sensor es un dispositivo que detecta energía, presión, etc., a partir de
71 una acción externa por un medio, proporciona una señal de salida que puede estar
72 en función de la variable medida [Areny, 2005]. Los sensores son parte fundamental
73 de todo sistema que se desea automatizar dado que permiten imponer límites y/o
74 condiciones en el sistema en cuestión para obtener un funcionamiento deseado, sin
75 embargo, dado que los sensores por sí mismos no pueden ofrecer una señal per-
76 fecta, es decir, sin ruido ni efectos secundarios que alteren la precisión de esta, es
77 necesario recurrir a un sistema de acondicionamiento para dicha señal. Los acondi-
78 cionadores de señal, se pueden definir como circuitos electrónicos que modifican las
79 características de una señal eléctrica [RAE, 2021]. Se pueden componer de adapta-
80 dores o amplificadores, en sentido amplio, son los elementos del sistema de medida
81 que ofrecen, a partir de un conjunto de elementos pasivos y activos la señal de sa-
82 lida del sensor electrónico, una señal apta que permita una interpretación mediante
83 un equipo de instrumentación estándar [Areny, 2005].

84 Los plásticos se definen como polímeros, en función de su estructura y su
85 comportamiento, cuando son expuestos a la temperatura pueden clasificarse en ter-

86 moplásticos, termofijos y elastómeros. Los termoplásticos, al estar compuestos por
87 cadenas lineales y ramificadas, se funden al ser sometidos al calor y pueden adop-
88 tar nuevas formas. Esta propiedad es fundamental para el reciclaje, pues permite
89 recuperar los materiales y volver a utilizarlos mediante procesos físicos simples, co-
90 mo el calentamiento. Dado que aproximadamente el 80 % de los plásticos que se
91 producen son termoplásticos, se tienen que clasificar correctamente para poder ser
92 reciclados [Morillas et al., 2014]. Existen más de 100 tipos de plásticos, siendo siete
93 los más usados [Peláez Lenis et al., 2018] y los que más se reciclan: polipropileno,
94 polietileno, policloruro de vinilo, poliestireno, tereftalato de polietileno y el policarbo-
95 nato [Garran et al., 2008]. Se identifican por un número dentro de un triángulo que
96 facilita su identificación, y fueron codificados por la Sociedad industrial del plástico
97 en 1980 [Ramli et al., 2008], véase la Tabla 1.

98 Comercialmente existen empresas que fabrican y distribuyen sistemas de
99 clasificación de polímeros, ver Tabla 2, como el sistema de *BottleSort*. Este sis-
100 tema es capaz de identificar el PET transparente del PET verde [Milgrom, 1994],
101 [Bruno, 2000]. El sistema *Poly-Sort*, es similar a *BottleSort*, comienza separando las
102 botellas en orden individual [Bruno, 2000, the Environment et al., 2008]. Otro sis-
103 tema automático para la separación de resinas de plástico es *Near infrared re-*
104 *flectance spectroscopy* es un método de identificación de dos filtros [Scott, 1995,
105 Masoumi, 2012]. Otro tipo de sistema radica en el campo del reflejo y transmisión de
106 rayos-x, es similar al método de *infrared spectroscopic* y al sistema VS-2 que tiene
107 una capacidad eficiente [Bruno, 2000, Foundation, 2015]. Cada uno de los métodos
108 descritos utilizan y proporcionan ventajas y desventajas que ayudan a diferenciar la
109 mejor opción para desarrollar un sistema de clasificación y de costo asequible.

110 Existen diferentes metodologías para el diseño y el desarrollo de tecno-
111 logía. En ingeniería, la heurística es un método basado en la experiencia que puede
112 utilizarse como ayuda para resolver problemas de diseño. La heurística abarca des-
113 de la elaboración de cálculos de los recursos necesarios hasta la planeación y las
114 mejores condiciones de operación de los sistemas. Mediante el uso de heurísticas,
115 es posible resolver más rápidamente problemas conocidos o similares a otros co-
116 nocidos. Existen varios métodos heurísticos disponibles para los ingenieros como,
117 por ejemplo, el análisis modal de fallas y efectos. Dichos métodos dependen de un
118 grupo de ingenieros experimentados que evalúan los problemas y fallas, los orde-
119 nan según su importancia y recomiendan soluciones [Beuchot, 1999, Breyer, 2011].
120 Otros métodos que se utilizan son las *Core Tools*. Son un conjunto de herramien-
121 tas principalmente usadas en el sector automotriz también conocidas como APQP,
122 PPAP, AMEF, SPC y MSA. Estas herramientas son procesos desarrollados conjun-

123 tamente por *Chrysler, Ford* y *General Motors* para diseñar, desarrollar, prevenir,
124 medir, controlar, registrar, analizar y aprobar productos y servicios de calidad que
125 satisfagan las necesidades y expectativas del cliente [Olmedo-Méndez, 2017].

126 Cada una de las metodologías de diseño para identificar los elementos en
127 una experimentación tienen diferentes características. En este trabajo se plantea
128 una combinación de los métodos, técnicas y tecnologías para desarrollar una meto-
129 dología que clasifique botellas PET post-consumo.

II. JUSTIFICACIÓN

130

131 El crecimiento de la población a nivel mundial contribuye al aumento de
132 materiales sólidos tanto los que se pueden reciclar y los que no se reciclan. La
133 adecuada clasificación de los plásticos representa una actividad económica para
134 personas físicas y morales que contribuyen en la recolección, traslado y proceso
135 de los diferentes materiales. El crecimiento de la producción de plástico a nivel
136 mundial alcanzó los 280 millones de toneladas en 2011, 322 millones de toneladas
137 en 2015, y se estima que para 2021 rondará los 400 a 414 millones de toneladas
138 [Grigore, 2017, Sahin O., 2018].

139 En México se generan más de 44 millones de toneladas anuales de re-
140 sidos, y se espera que la cifra se incremente a 65 millones para el año 2030.
141 La mitad de nuestros residuos son orgánicos, y la otra mitad son sólidos, e in-
142 cluyen plástico, papel, cartón, vidrio y aluminio. El 90 % de estos desperdicios se
143 arrojan a tiraderos de cielo abierto o a rellenos sanitarios lo que provoca contami-
144 nación del aire y el suelo. Los plásticos reciclados son materiales muy utilizados
145 a nivel global. En México de todos estos residuos que se producen solo el 5 %
146 se recicla o valoriza lo que equivaldría a unas 2.2 millones de toneladas anuales
147 [Josefa, 2019, Ángeles-Hurtado et al., 2021]. En México existen organismos dedi-
148 cados a la recolección y reciclado de plásticos desde 1992, incluido el PET. Las
149 organizaciones más importantes son: La Asociación para Promover el Reciclaje de
150 PET, APREPET, Ecología y Compromiso Empresarial ECOCE y el Instituto Nacional
151 de Recicladores INARE [Flores, 2012]. Estas instituciones a menudo realizan pro-
152 gramas de recolección dirigidas a la población para después proceder a la parte del
153 reciclaje de plásticos. Un problema es que este proceso es muy tardado debido a
154 que tiene que pasar a través de otras instituciones como centros de acopio para
155 después proceder al reciclaje que se llevará a cabo en una industria dedicada a ello.

156 La gran cantidad de botellas de plástico que se generan en el mundo re-
157 quiere de sistemas que detecten las propiedades de los envases y descarten otros
158 materiales a gran velocidad. Existen tecnologías automatizadas para clasificar las
159 botellas de plástico. Estas tecnologías no se aplican a la mayoría de los plásticos
160 debido a la variedad de tamaños, formas, revestimientos, pintura de los plásticos,
161 grosor y opacidad de los mismos, lo que dificulta el uso de técnicas de clasificación
162 [Kang Hai-Yong, 2005, Ángeles-Hurtado et al., 2021].

163 Las empresas y principalmente la ciudadanía deben seguir contribuyendo
164 a que se recolecten más materiales sólidos a través de los centros de acopio, solo

165 para México se procesan 85 mil toneladas al año de plástico PET, el equivalente a
166 4,100 millones de botellas. Con la adecuada recolección se evita el 87% de emisio-
167 nes de gases de efecto invernadero frente a la producción de resina virgen, lo que
168 equivale a 101,350 toneladas anuales de dióxido de carbono (CO_2) cantidad que se
169 evitaría si todos los automóviles de la ciudad de México dejaran de circular durante
170 dos días [Josefa, 2019].

171 La clasificación manual no es una opción rentable para separar en gran-
172 des cantidades. Existen presentaciones de plásticos que se comercializan cada día,
173 las cuales no tienen la nomenclatura que las identifique. En consecuencia si no
174 se cuenta con sistemas automatizados se opta por diferentes técnicas para poder
175 identificar el tipo de plástico, como las siguientes: Se raspa el plástico para com-
176 probar su dureza así como observar si no existen otros plásticos mezclados. Se
177 muerde el plástico para determinar la dureza del material. Se le da pequeños gol-
178 pes con la mano al plástico para escuchar que sonido emite o se quemar el plástico
179 para observar el color del humo así como el olor que desprende al ser quemado
180 [Ángeles-Hurtado et al., 2021].

181 **III. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

182 En México, es fácilmente comprobado con sólo salir a la calle y observar
183 que en las carreteras o en la misma banqueta de una colonia hay diversos polímeros
184 y botellas de plástico tiradas en el suelo, a esto se le agrega que muchas de éstas
185 botellas pese a que terminen en los contenedores de basura no son recicladas de
186 manera correcta debido a que no hay una metodología clara que permita realizar
187 esta tarea de manera rápida y sencilla. Si bien es cierto que no todos los materiales
188 producidos con PET son reutilizables vale la pena aclarar que el PET es el plástico
189 más utilizado y más propenso a ser reciclado de una manera más sencilla, sin em-
190 bargo, es un proceso complejo y que requiere de mucha labor. Es en esta premisa
191 en la cual recae este proyecto, permitir la clasificación del PET de una forma rápida,
192 eficiente y automática con el fin de realizar la ardua labor de la separación del PET
193 en una tarea más sencilla y simple.

194 Los centros de acopio que abastecen de material a diversas empresas en
195 todo el mundo se encuentran con la falta de maquinaria y métodos que les permitan
196 tener resultados más favorables en los precios y costes; Por lo que se han implemen-
197 tado varias técnicas manuales que dependen de la interpretación del observador. El
198 material en la mayoría de los casos se encuentra revuelto y se almacena en super-
199 sacos o contenedores de manera que manualmente se clasifican al 100 % debido a
200 que estos materiales suelen estar contaminados con líquidos dentro de las botellas,
201 materiales orgánicos, pintura, etiquetas de PVC, aceites etc.








202 Para poder enfrentar esta problemática consideramos que, se debe tener
203 una metodología para poder experimentar y proponer mejoras para facilitar el pro-
204 ceso de automatización. Se debe de poder identificar los mejores diseños a través
205 de métodos que ayuden a reducir el coste en el proceso de implementación de un
206 sistema tecnológico. Se debe de promover el desarrollo e implementación de nue-
207 vas técnicas de separación de plásticos. Para ello se busca la implementación de
208 una metodología que nos permita seleccionar los elementos que van a componer al
209 sistema cumpliendo con las premisas previamente descritas.

IV. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

210

211 Partiendo del concepto de sistema, como un conjunto de partes coordina-
212 das y de reglas o principios sobre una materia racionalmente enlazadas entre sí y
213 en interacción para alcanzar un conjunto de objetivos [Johansen, 1975, RAE, 2020].
214 Se puede afirmar que el conjunto de partes de un sistema es fundamental para que
215 se alcancen sus metas más aun si se trata de sistemas de medición. Para evaluar el
216 conjunto de partes de un sistema se utiliza estadística con la finalidad de recolectar
217 datos que representen el comportamiento de los componentes. Por otro lado los da-
218 tos son representaciones simbólicas de los eventos que se presentan en cualquier
219 sistema y se pueden obtener por medio de la observación, por transductores, sen-
220 sores y modelos matemáticos [Crisci, 1983]. Por lo que al buscar que los sistemas
221 sean asequibles se deben de considerar más factores de interacción en el sistema.
222 Asequible se refiere a lo que se puede alcanzar, obtener o lograr, lo que se pretenda
223 o desea [RAE, 2021]. Es difícil diferenciar entre los tipos de resinas que se utilizan y
224 las diferentes presentaciones que circulan el mercado mundial, ver Tabla 1, esta fue
225 una de las razones para que la sociedad industrial del plástico instituyera un sistema
226 de etiquetado en 1980 [Ramli et al., 2008]. El sistema crea un conjunto de códigos
227 para cada uno de los seis tipos de resinas más comunes. Estos códigos se pueden
228 encontrar en la mayoría de las presentaciones bajo las botellas [Rotheiser, 2009]. El
229 PET actualmente es uno de los materiales más utilizados en el día a día de los seres
230 humanos siendo este el material base para todo tipo de productos, por ejemplo; Bo-
231 tellas de agua o cualquier otro líquido, envolturas de productos de consumo humano
232 o de productos desechables, bolsas de plástico, etc. De lo anterior se entiende que
233 debido a la alta presencia de este material en la vida actual del ser humano es ne-
234 cesario recurrir a la labor de la reutilización o reciclaje en la Figura 1 se ilustra el
235 procesos que puede llevar una botella de PET para ser reciclada.

Tabla 1: Símbolos para identificar el tipo de plástico reciclado [Ramli et al., 2008].

						
PET	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	OTROS
PET: <i>Polyethylene Terephthalate</i>			HDPE: <i>High Density Polyethylene</i>			
PVC: <i>Polyvinyl Chloride</i>			LDPE: <i>Low Density Polyethylene</i>			
PP: <i>Polypropylene</i>			PS: <i>Polystyrene</i>			

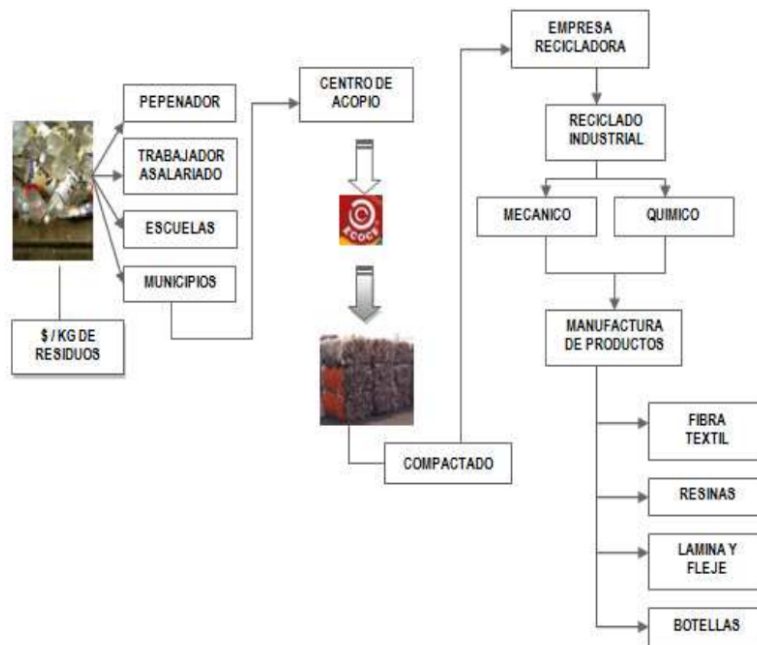


Figura 1: Proceso de recolección y reciclaje del PET [Flores, 2012]

236 . **Metodologías para el diseño y el desarrollo de tecnología**

237 La heurística es una técnica o procedimiento práctico, para resolver proble-
 238 mas. Alternativamente, *Lakatos* lo define como un conjunto de reglas metodológicas
 239 no necesariamente forzosas, positivas y negativas, que sugieren o establecen cómo

240 proceder y qué problemas evitar a la hora de generar soluciones y elaborar hipótesis.
241 La base de la heurística está en la experiencia de resolver problemas y en ver cómo
242 otros lo hacen. Consecuentemente se dice que hay búsquedas ciegas, búsquedas
243 heurísticas (basadas en la experiencia) y búsquedas racionales.

244 Dado que las heurísticas pueden equivocarse, es fundamental conocer los
245 casos en los que son aplicables y los límites a su uso. En general, en la ingeniería
246 deben considerarse como ayudas o apoyos para hacer estimaciones rápidas y di-
247 seños preliminares, pero no como justificaciones finales de un diseño o proyecto u
248 otros [Beuchot, 1999, Breyer, 2011].

249 Las *Core Tools* son un conjunto de herramientas principalmente usadas
250 en el sector automotriz también conocidas como APQP, PPAP, AMEF, SPC y MSA.
251 Estas herramientas son procesos para diseñar, desarrollar, prevenir, medir, contro-
252 lar, registrar, analizar y aprobar productos y servicios de calidad que satisfagan las
253 necesidades [Olmedo-Méndez, 2017].

254 . **Sistemas actuales de clasificación para botellas de plástico**

255 En la última década se ha utilizado el aprendizaje automático, siendo así un
256 conjunto de algoritmos de clasificación basado en la teoría del aprendizaje estadísti-
257 co, esta modalidad se puede entender como algoritmos que aprenden de los datos
258 ingresados por una persona [Yi Tan, 2005] y son implementados en diversas apli-
259 caciones. En la Figura 2 se muestra el proceso completo de clasificación utilizando
260 aprendizaje estadístico. El sistema cuenta con retroalimentación para clasificar con
261 una mejor precisión [the Environment et al., 2008]. Existen diversos sistemas que
262 difieren del que se muestra en la Figura 2.

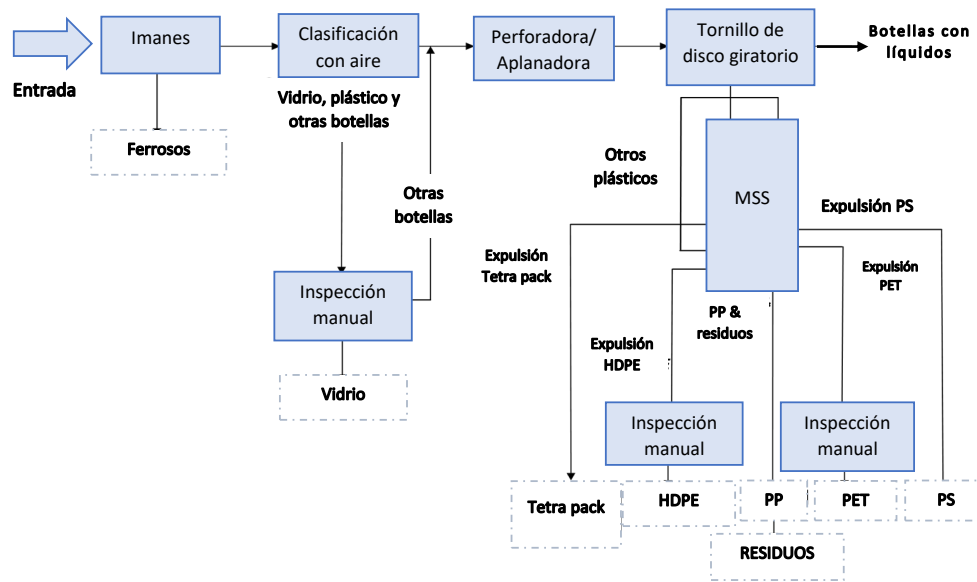


Figura 2: Ejemplo de un diagrama de flujo del proceso de clasificación de botellas de plástico [the Environment et al., 2008].

263 . **Tendencias recientes para mejorar la detección en los plásticos**
 264 **reciclables**

265 Las investigaciones recientes plantean nuevos métodos como el principio
 266 del procesamiento de imágenes ver Figura 3, utilizando combinaciones de varias
 267 técnicas como análisis de componentes principales, espectroscopia [Rani et al., 2019]
 268 y transformada *Hough* [Duda and Hart, 1972]. Una de las limitantes de este método
 269 son las condiciones al momento de tomar la fotografía, la variación en la luz, reso-
 270 lución, fondo y la distancia de la cámara para obtener una precisión mayor a 95 %
 271 [Prasad, 2012].

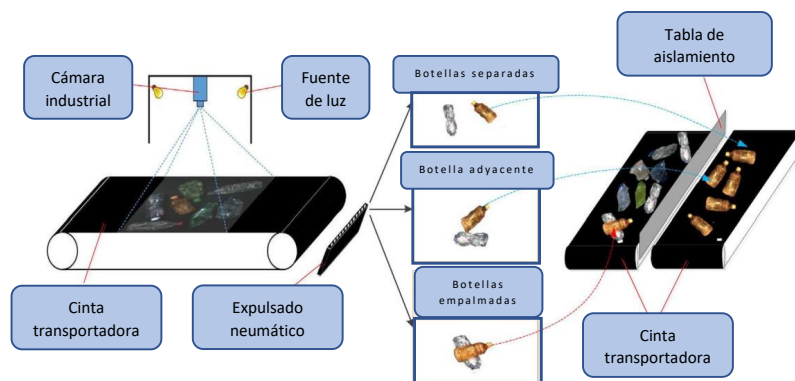


Figura 3: Cámara fotográfica para la detección de botellas de color [Wang et al., 2019].

272 . Sensores para la identificación de polímeros

273 La implementación de sensores basados en espectroscopia permite tener
 274 una gran ventaja al momento de clasificar los diferentes plásticos que se manejan en
 275 la industria puesto que permiten realizar esta tarea sin ser invasivo con los plásticos,
 276 sin emitir contaminantes. Tienen muy pocas limitaciones para el tamaño del mate-
 277 rial que se va a separar y permiten hacerlo en grandes cantidades [Wu et al., 2020].
 278 Algunas de las tecnologías de espectroscopia que pueden ser aplicadas para la
 279 separación de plásticos son, por ejemplo, la espectroscopia de infrarrojo cercano
 280 o *near-infrared spectroscopy* NIR; Espectroscopia de *Raman*; Espectroscopia de
 281 ruptura inducida por láser o *laser induced breakdown spectroscopy* LIBS y fluores-
 282 cencia de rayos-X o *X-ray fluorescence* XRF [Wu et al., 2020].

283 . Sistema de acondicionamiento de señal

284 Los sistemas de acondicionamiento de señales usualmente consisten en
 285 circuitos electrónicos que ejercen funciones como amplificación, cambio de nivel
 286 (*level shifting*), filtrado, acople de impedancias y modulación [Pallas-Areny, 2012].
 287 Normalmente alguna de las etapas que componen al sistema de acondicionamiento
 288 consiste en la conversión de la señal analógica, proveniente del sensor, a una señal
 289 digital (*ADC*) por sus siglas en inglés [Pallas-Areny, 2012]. Se deben considerar tam-
 290 bién las características que se muestran a continuación:

- 291 ■ Configuración general de entrada y salida del sensor.

292 ■ Exactitud, precisión y sensibilidad.

293 ■ Linealidad y resolución.

294 En función de estas características se procede con el diseño particular del sistema
295 de acondicionamiento para el sensor en cuestión [Pallas-Areny, 2012].

296 . **Procesamiento de los datos de los sensores**

297 Existen varios métodos para la extracción y manejo de los datos prove-
298 nientes de los sensores basados en espectroscopia infrarroja dado que es una ta-
299 rea compleja. Algunos de estos métodos son; *Principal Component Analysis* PCA
300 [Serranti et al., 2013], *Linear Discriminant Analysis* LDA [De Groot et al., 1999], y
301 *Support Vector Machine* SVM [Noble, 2006]. Los métodos de arriba se consideraran
302 para identificar si los elementos que compondrán el sistema automatizado cumplen
303 con criterios de diseño asequible.

Tabla 2: Sistemas comerciales para la clasificación de diferentes tipos de plásticos reciclables [Ángeles-Hurtado et al., 2021].

Sistema	Ventajas
1	Considera el tamaño de la botella, remueve contaminantes, trabaja con 16 sensores de rayos infrarrojos, clasificación en 5 milisegundos, identifica color, utiliza un sistema neumático expulsando las botellas.
2	Utiliza una cámara de color, separa las botellas en orden individual, remueve contaminantes, velocidad de detección de 15 veces por segundo e identificación de 19 milisegundos, identifica tipos de colores en las botellas.
3	Alta detección al utilizar el reflejo de rayos x y de sensores infrarrojos por medio de espectroscopia este método es recomendado para detectar PCV. Analiza de 200 veces por segundo, separa 2 a 3 botellas por segundo.

1 - *BottleSort*, 2- *Poly-Sort*, 3- *Near infrared spectroscopic* y *VS-2*

304 . **Premisas para identificar los elementos de un sistema de cla-**
305 **sificación de botellas de plástico**

- 306 ■ Existen metodologías que combinadas pueden ayudar a determinar los ele-
307 mentos necesarios para un sistema de clasificación de botellas PET.
- 308 ■ Proponiendo solo un sensor de InGaAs podemos identificar que elementos
309 mecánicos, eléctricos y electrónicos son necesarios.
- 310 ■ La combinación de los métodos, como PCA así como tecnologías en la adqui-
311 sición de datos son suficientes para proponer una metodología para clasificar
312 botellas PET post-consumo.

V. HIPÓTESIS

313

314 Mediante la combinación de tecnologías existentes para la clasificación de
315 botellas PET post-consumo se puede desarrollar una nueva metodología basada en
316 las características de los diodos InGaAs y en su interacción con elementos mecáni-
317 cos, eléctricos y electrónicos que permita desarrollar un sistema asequible.

318

VI. OBJETIVO

319

320

321

322

323

324

. **Objetivos específicos**

325

326

327

328

329

330

- Diseñar un sistema de acondicionamiento de señal para el diodo de InGaAs utilizando el diodo BPW21R.
- Determinar una metodología a partir de las características de los diodos InGaAs para seleccionar los elementos mecánicos.
- Justificar a partir de la metodología propuesta los elementos eléctricos y electrónicos que interactuarán en el sistema.

VII. METODOLOGÍA

331

332 Por el método de la observación, análisis estadístico y experimentación se
333 llevo acabo este trabajo de investigación. El estudio y la generación de los datos
334 se realizo en la ciudad de Querétaro, en los laboratorios de automatización de la
335 facultad de ingeniería UAQ. El período de investigación se llevo acabo a partir de
336 enero de 2022 y se termino el desarrollo en diciembre de 2023. Para empezar con
337 la metodología de una mejor forma se definió el nivel de abstracción inicial para el
338 diseño eléctrico, y mecánico, se realizo una descomposición jerárquica, definiendo
339 la estructura de nuevos niveles jerárquicos, estableciendo los niveles de potencia y
340 control para desarrollar la arquitectura necesaria, y finalmente, seleccionar la tecno-
341 logía que se va a utilizar.

342

343 . **Diseño del sistema de acondicionamiento de señal para el dio-** 344 **do de InGaAs mediante el diodo BPW21R**

345 Para realizar el sistema de acondicionamiento de señal, primero se defi-
346 nieron los rangos de operación del diodo y las características que este posee para
347 trabajar bajo distintas condiciones ambientales. Para ello se consulto la hoja de da-
348 tos para obtener el tipo de señal de salida que el diodo envía y que posteriormente
349 será procesada para que se convierta en una señal limpia y que permita tener míni-
350 mos errores en la medición.

351 . **Definición del mensurando para la medición de la longitud de onda con el** 352 **diodo InGaAs**

353 Para la medición de la longitud de onda se considero al mensurando como
354 la corriente eléctrica que pasa por un foto-diodo de InGaAs, la medición es de ma-
355 nera indirecta debido a las propiedades del sensor que al variar la iluminancia que
356 pasa por el material expuesto se refleja y cambia la longitud de onda en el foto-diodo
357 y su resistencia cambia. La resistencia del foto-diodo cambia debido a la iluminancia
358 y al voltaje inducido, dependiendo de esta variación se puede calcular la longitud de
359 onda. Toda la experimentación se realizo con el diodo BPW21R y con los resultados
360 se infirió el adecuado acondicionamiento de señal.

361 . **Justificación de una metodología para los elementos eléctricos y electrónicos del sistema**
362

363 Un microcontrolador es un componente electrónico que en una sola pastilla
364 o circuito integrado incluye la memoria, puertos y algunos periféricos [Del Brío, 1999].
365 Para la selección de este componente es necesario considerar aspectos de frecuencia
366 de operación, número de entradas y salidas digitales, número de puertos de
367 conversión A/D, número de *TIMERS* disponibles, etc. [Del Brío, 1999]. De manera
368 general se utilizó un microcontrolador para ejecutar las instrucciones más complejas
369 y un PLC para el accionamiento de un motor. Se consideró el apartado de potencia
370 puesto que se utilizó cuando menos un motor y una banda transportadora.
371 Así mismo, se consideró el tipo de conectores y elementos necesarios para realizar
372 la etapa de potencia ideal para que el sistema de clasificación funcione correctamente
373 manteniendo la seguridad como premisa principal. Dado que se aproximó el
374 funcionamiento del diodo de InGaAs como componente principal para el trabajo de
375 espectroscopia, se determinaron factores de ruido que puedan provocar fallas en
376 su funcionamiento, para ello es crucial identificar dichos factores y determinar cual
377 sería la manera más idónea para eliminarlos con el fin de permitir que el diodo y sus
378 futuras etapas de amplificación y de filtrado funcionen correctamente. Dicha información
379 puede ser consultada mediante la hoja de datos así como cada característica
380 del dispositivo y esto puede ser realizado de manera similar con cada componente
381 que vaya a formar parte del sistema, ya sea en la parte de control o en la parte
382 de potencia. Otro factor que se consideró fue el correcto funcionamiento en función
383 del entorno que lo rodea puesto que todo semiconductor puede verse afectado en
384 su función debido a la temperatura exterior [Malvino, 1991]. Por ende, fue necesario
385 utilizar instrumentos de medición como voltímetros, amperímetros y osciloscopio.

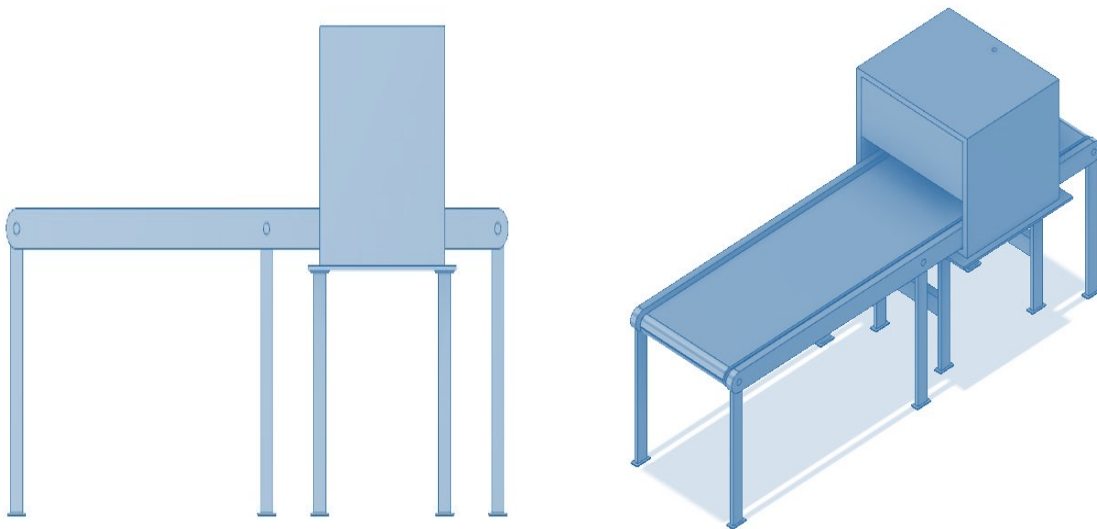
386 . **Justificación para el desarrollo de un sistema de acondicionamiento de
387 señal para el diodo de InGaAs**

388 Dado que se trabajó para aproximar el funcionamiento del diodo de InGaAs
389 por sí sólo entonces se requirió de un sistema que permitió al controlador interpretar
390 los datos provenientes del diodo de una manera más sencilla y exacta con el fin de
391 obtener una mayor precisión en la identificación del PET. Para esto se estudiaron
392 las propiedades del diodo, el tipo de salida que envía al realizar una medición y
393 su comportamiento con diferentes elementos como amplificadores operacionales,
394 filtros y en función de ello se comenzó con la selección de componentes para las

395 etapas de amplificación y filtrado de la señal de salida del sensor.

396 . **Determinación de una metodología mediante las característi-**
397 **cas del diodo InGaAs para seleccionar los elementos mecáni-**
398 **cos**

399 De manera general se propuso para la parte mecánica del sistema de clasi-
400 ficación una banda transportadora, un motor para dicha banda transportadora y un
401 sistema que permita sostener el sistema eléctrico-electrónico, véase la Figura 4.



(a) Vista lateral del sistema de identificación.

(b) Vista general del sistema.

Figura 4: Sistema mecánico de detección, (Elaboración propia).

402 La determinación de los elementos mencionados se realizo en función de
403 las características de las botellas de PET y de las características del diodo InGaAs
404 y BPW21R. Otro factor a considerar para esta metodología es el espacio de los
405 elementos eléctricos y electrónicos que se utilizaran tanto en el funcionamiento del
406 sensor como en el funcionamiento de elementos previamente mencionados como el
407 motor o la banda transportadora, con el fin de que se mantenga una distribución de
408 cables y conexiones discreta y manteniendo seguridad. Se trabajo con el concepto
409 de espectroscopia, se considero como factor la fuente de poder puesto que se re-
410 quiere de una fuente de luz estable y constante, para ello se propuso una estructura
411 aislada. En ese sentido, dentro de la metodología se indican que factores permiten

412 el aislamiento de la sección de variables externas como la luz y/o las vibraciones
413 que se puedan presentar en otras secciones del sistema.

414 . **Diseño de experimentos con la interacción de todos los factores a controlar**

415 Se busca minimizar los factores de ruido que se provoca con la interacción
416 de todos los factores anteriormente descritos y así se obtenga la velocidad máxima y
417 mínima que no afecte la eficiencia en la detección, ver Figura 5 [Gutiérrez-Pulido, 2004].

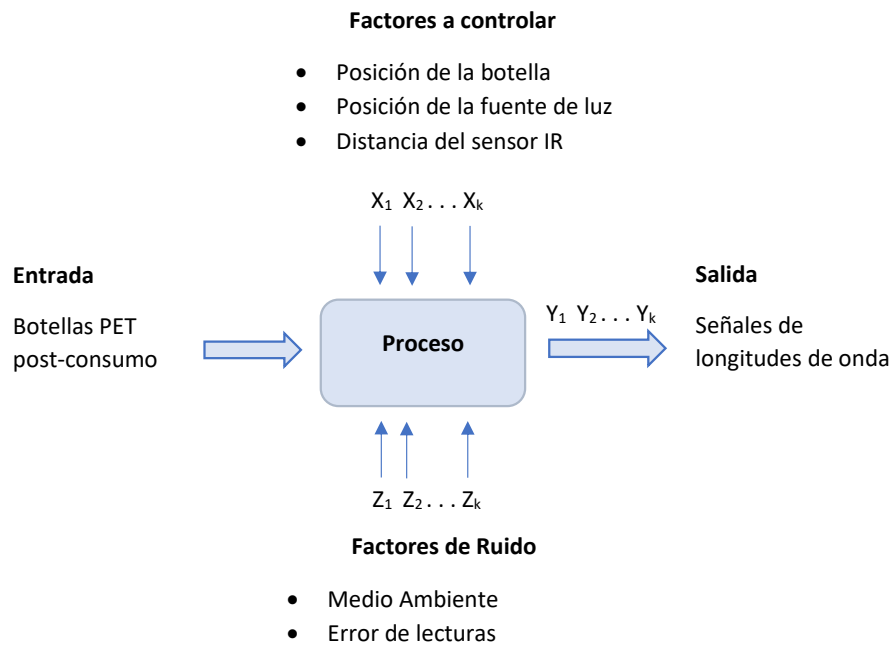


Figura 5: Factores y variables en el diseño de experimentos para la interacción de todo el sistema.

VIII. RESULTADOS

418

419 . **Diseño del sistema de acondicionamiento de señal para el di-** 420 **odo de InGaAs mediante el diodo BPW21R**

421 Los sensores infrarrojos se basan en fotodiodos que pueden estar cons-
422 truidos a partir de cuatro elementos químicos como el silicio Si, el indio In, el galio
423 Ga o el arsénico As, sin embargo, cabe aclarar que se pueden adquirir fotodiodos
424 hechos a partir de únicamente silicio y fotodiodos contruidos a partir arseniuro de
425 indio y galio InGaAs. Cada material y fotodiodo tiene un distinto rango de operación
426 ver Figura 6, lo cual nos permite decidir que tipo de diodo es el ideal para la tarea
427 que se desea realizar.

428 En este caso como se busca separar botellas de PET se puede recurrir
429 únicamente a los sensores basados en la espectroscopia de infrarrojo cercano da-
430 do que trabaja en la región entre 800 [nm] y 2500 [nm] aunque un rango de entre
431 800 [nm] y 1100 [nm] es más que suficiente para la detección y diferenciación entre
432 el PET transparente y el de color. Esta tecnología en conjunto con una cámara que
433 pueda generar imágenes hiper-espectrales y contenga un dispositivo de carga aco-
434 plada puede ser más que suficiente para realizar la clasificación de las botellas de
435 PET [Wu et al., 2020].

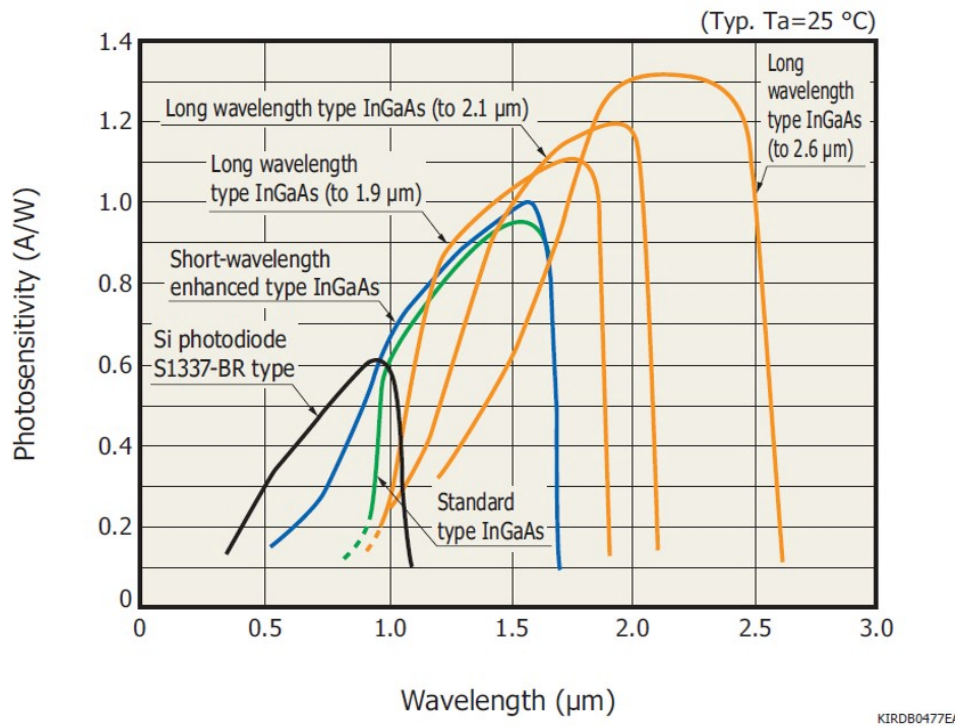


Figura 6: Rango de operación de los fotodiodos InGaAs [KK, 2015].

436 Basándonos en la gráfica de la Figura 6 y en el hecho de que el rango neces-
 437 sario para detectar los colores del PET es de entre los 800 [nm] y 1100 [nm] podemos
 438 asumir que un fotodiodo de silicio correspondiente al tipo S1337-BR [KK, 2015] es
 439 suficiente para el sistema en cuestión, sin embargo, se debe considerar la frecuen-
 440 cia a la cual va a operar el sistema, el área fotosensible que ofrece el sensor y la
 441 variedad de modelos que se disponen, considerando estos factores es más factible
 442 utilizar un diodo construido a base de arseniuro de indio y galio.

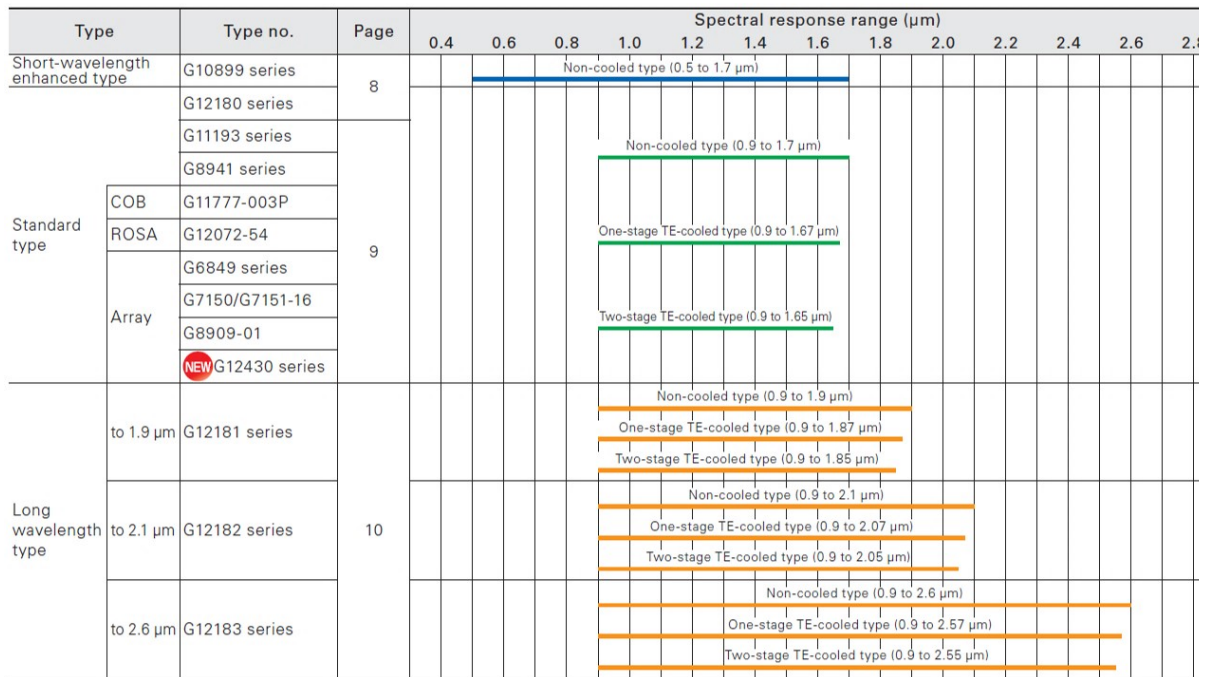


Figura 7: Rangos de detección de diodos construidos de InGaAs [KK, 2015].

443 Dada el cuadro en la Figura 7 podemos observar los diferentes modelos
444 de diodos construidos a partir de InGaAs, sus modelos de referencia y el rango de
445 detección que poseen, con esta información es sencillo seleccionar una serie de
446 construcción.

Tabla 3: Características de la serie G10899 [KK, 2015].

Modelo	área fotosensible	Voltaje en reversa	Enfriamiento	F_c [MHz]
G10899-003K	$\Phi 0.3$ mm	5 V	Ninguno	150 - 300 [MHz]
G10899-005K	$\Phi 0.5$ mm	5 V	Ninguno	75 - 150 [MHz]
G10899-01K	$\Phi 1$ mm	5 V	Ninguno	25 - 45 [MHz]
G10899-02K	$\Phi 2$ mm	2 V	Ninguno	4 - 10 [MHz]
G10899-03K	$\Phi 3$ mm	2 V	Ninguno	2 - 5 [MHz]

Tabla 4: Características de la serie G12180 [KK, 2015].

Modelo	área fotosensible	Voltaje en reversa	Enfriamiento	F_c [MHz]
G10899-003A	$\Phi 0.3$ mm	20 V	Ninguno	450 - 600 [MHz]
G10899-005A	$\Phi 0.5$ mm	20 V	Ninguno	160 - 200 [MHz]
G10899-010A	$\Phi 1$ mm	10 V	Ninguno	25 - 60 [MHz]
G10899-020A	$\Phi 2$ mm	5 V	Ninguno	4 - 13 [MHz]
G10899-030A	$\Phi 3$ mm	5 V	Ninguno	2.5 - 7 [MHz]
G10899-050A	$\Phi 5$ mm	2 V	Ninguno	0.5 - 3 [MHz]
G10899-110A	$\Phi 1$ mm	5 V	TE de una etapa	20 - 40 [MHz]
G10899-120A	$\Phi 2$ mm	5 V	TE de una etapa	4 - 13 [MHz]
G10899-130A	$\Phi 3$ mm	5 V	TE de una etapa	2.5 - 7 [MHz]
G10899-150A	$\Phi 5$ mm	2 V	TE de una etapa	0.5 - 3 [MHz]
G10899-210A	$\Phi 1$ mm	5 V	TE de doble etapa	20 - 40 [MHz]
G10899-220A	$\Phi 2$ mm	5 V	TE de doble etapa	4 - 13 [MHz]
G10899-230A	$\Phi 3$ mm	5 V	TE de doble etapa	2.5 - 7 [MHz]
G10899-250A	$\Phi 5$ mm	2 V	TE de doble etapa	0.5 - 3 [MHz]

447 . **Definición del mensurando para la medición de la longitud de onda con el**
 448 **diodo InGaAs**

449 En la Tabla 3 y Tabla 4 se muestran los modelos que pertenecen a las
 450 respectivas series de fotodiodos y sus características generales, sin embargo, ca-
 451 be destacar que la serie G10899 [KK, 2015] tiene un rango de operación de entre
 452 800 [nm] y los 1700 [nm] mientras que la serie G12180 [KK, 2015] tiene un rango
 453 menor de entre 900 [nm] y 1700 [nm], si bien esta diferencia de 100 [nm] podría o no
 454 representar un cambio en la precisión considerable se compensa con el hecho de
 455 que la serie G12180 [KK, 2015] tiene más opciones que permiten obtener resulta-
 456 dos diferentes en cuestiones de eficiencia y velocidad que son factores importantes

457 para la realización del sistema de clasificación, por lo que de momento estas dos
458 series son consideradas aptas para la tarea que se desea llevar a cabo.

459 . **Justificación de una metodología para los elementos eléctricos** 460 **cos y electrónicos del sistema**

461 Para poder describir esta sección resaltamos que se requiere automatizar
462 un sistema que identifique botellas PET que pasan por una banda transportadora y
463 que posteriormente sean expulsadas por un sistema neumático. Para controlar las
464 electroválvulas se requiere de un circuito de potencia relativamente simple y que
465 permita manejar dos voltajes diferentes, uno de 5 [V] para la entrada y otro de 24 [V]
466 para la activación de las bobinas de las electroválvulas. Dicho circuito puede ser
467 realizado con un modulo de relevadores los cuales típicamente manejan voltajes de
468 entre 5 [V] y 30 [V] de corriente directa y de 125 [V] a 250 [V] de corriente alterna con
469 corrientes de hasta 10 [A]. El control se puede realizar con un FPGA o bien con una
470 tarjeta STM32F4 las cuales poseen características similares a las de un microcon-
471 trolador PIC de microchip pero con una mayor capacidad de memoria y frecuencia
472 de trabajo que la harían apta para esta aplicación. Otro factor a considerar es el
473 precio, el costo de la FPGA De-10 Lite es de 82 dolares que equivalen a 1412.75
474 pesos mexicanos en precio de estudiante [Terasic, 2023], versus el precio para pu-
475 blico en general que ronda los 140 dolares que equivalen a 2412.00 pesos mexicanos
476 [Terasic, 2023] mientras que el precio de la Nucleo STM32F446 es de 14.90 dolares
477 que equivalen a 256.71 pesos mexicanos [ST, 2023], esto sin contar los costos de
478 envío.

479 . **BPW21R como método de aproximación al comportamiento del diodo In-** 480 **GaAs**

481 Con la finalidad de obtener un acercamiento al comportamiento del diodo
482 InGaAs, se realizaron pruebas con el circuito diseñado y propuesto para operar y
483 acondicionar la señal de dicho diodo, esto se realizó con un diodo **BPW21R**.

484 Los fotodiodos son dispositivos sensibles a la luz, dependiendo de la canti-
485 dad de luz que reciban y el ángulo de entrada de la misma al sensor de captura, la
486 corriente que emite el fotodiodo será mayor o menor.

487 El **BPW21R** es un fotodiodo de silicio de tipo PN con un sellado hermético
488 en un formato TO-5, especialmente diseñado para aplicaciones de alta precisión y
489 lineales [Vishay, 2006].

Tabla 5: Características eléctricas del fotodiodo BPW21R [Vishay, 2006].

Parámetro	Símbolo	MIN	Típico	MAX	Unidad
Voltaje directo	V_f	-	1.0	1.3	V
Corriente inversa en oscuridad	I_{ro}	-	2	-	nA
Resistencia en oscuridad	V_R	-	38	-	GΩ

Tabla 6: Características ópticas del fotodiodo BPW21R [Vishay, 2006].

Parámetro	Símbolo	MIN	Típico.	MAX	Unidad
Corriente inversa en luz	I_{ra}	4.5	9.0	-	μA
ángulo de sensibilidad media	ϕ	-	± 50	-	deg
Rango de banda de espectrometría	$\lambda_{0.5}$	-	420 a 675	-	[nm]

490 En la Tabla 5 se observan las propiedades eléctricas del fotodiodo, los
 491 parámetros más importantes son los siguientes: Corriente inversa en oscuridad
 492 o **Reverse Dark Current** [I_{ro}] y resistencia en oscuridad **Dark Resistance** [R_D]
 493 [Vishay, 2008], porque son parámetros que permiten predecir hasta cierto punto el
 494 comportamiento del fotodiodo y, en función de ello, diseñar un circuito que sea ca-
 495 paz de adecuar su señal para poder trabajarla. Estos parámetros van de la mano
 496 debido a que, como su nombre indica, son valores que se obtienen cuando el diodo
 497 esta operando en completa oscuridad y son importantes dado que influyen directa-
 498 mente en la medición final que se obtiene cuando el diodo se encuentra operando
 499 bajo condiciones de luz.

Lo anterior se comprobó durante la experimentación con el circuito mostrada en la Figura 8. En la Tabla 6 se observa el parámetro corriente inversa en luz o **Reverse Light Current** [I_{ra}] [Vishay, 2008]; este parámetro se refiere a la corriente que fluye en función de la cantidad de luz que capta el dispositivo y su valor se obtiene mediante la ecuación 1:

$$I_{ra} = I_{ro} + I_{ph} \quad (1)$$

500 Donde se observa a [I_{ph}] que es el parte de la corriente de salida que emite el
 501 diodo debido a que esta captando luz. Dada la Tabla 6, el valor de la **Reverse Light**

502 **Current** es de $9 [\mu A]$ como valor típico [Vishay, 2006], resultado de la suma de la
503 **Reverse Dark Current** y de la fotocorriente o **Photocurrent** $[I_{ph}]$. Este valor se
504 comprobó mediante la experimentación dado que con una resistencia de $1 [M\Omega]$, se
505 obtuvieron $8 [V]$ a la salida de un amplificador de transimpedancia, con lo cual, al
506 aplicar ley de Ohm, se obtiene un valor de corriente de aproximadamente $8 [\mu A]$.

507 . **Justificación para implementar un amplificador de transimpedancia**

508 Para la experimentación se estableció trabajar con el diodo BPW21R pa-
509 ra aproximar el funcionamiento del InGaAs porque su funcionamiento son similares
510 pero su costo del BPW21R es asequible para está tesis. Consideramos el siguiente
511 componente para la experimentación; Un amplificador de transimpedancia, es un ti-
512 po de configuración desarrollada para un amplificador operacional que permite tener
513 una corriente en la entrada y obtener un voltaje equivalente en cierta proporción a
514 la salida del amplificador. Acorde a la Figura 8, el funcionamiento del amplificador
515 de transimpedancia en conjunto con el BPW21R comienza con la obtención de la
516 corriente que fluye a través del fotodiodo como resultado de la captación de luz.

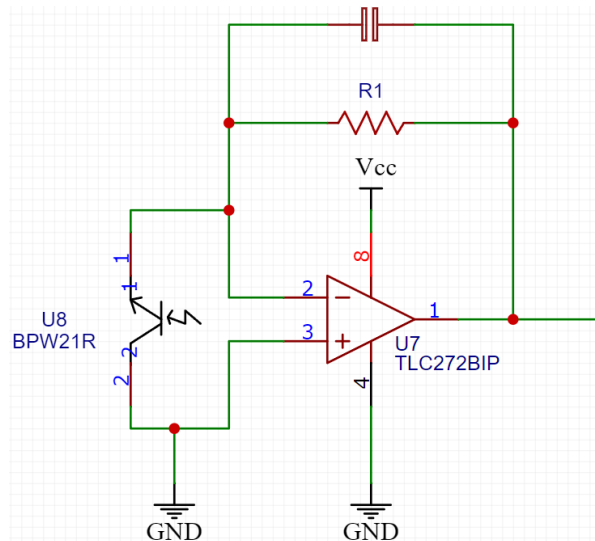


Figura 8: Diseño de un amplificador de transimpedancia.

517 Por regla general se sabe que idealmente las entradas del amplificador ope-
518 racional tienden a tener el mismo voltaje, es por eso que una resistencia es colocada
519 en realimentación, por que se busca que el voltaje en una de las terminales sea de
520 $0V$ con el fin de que el análisis del circuito se reduzca al comportamiento de la ley

521 de Ohm.

522 Esto se explica suponiendo que el fotodiodo emite una corriente de $1 [\mu A]$,
523 entonces si suministramos un voltaje de $1 [V]$ que fluye a través de una resistencia
524 de $1 [M\Omega]$, al llegar al mismo nodo esas corrientes se "anulan", provocando que el
525 voltaje en la entrada inversora del amplificador operacional sea de $0 [V]$.

526 . **Metodología aplicada para el desarrollo de pruebas en el foto-** 527 **diodo BPW21R**

528 Como parte de la metodología desarrollada y aplicada a este trabajo, fue
529 necesario disponer de un banco de pruebas que se desarrolló en tres etapas: el
530 diseño, la implementación y la ejecución del banco de pruebas.

531 . **Primera etapa: Diseño**

532 El diseño consistió en la investigación u obtención de datos, análisis y con-
533 clusiones de toda la documentación relacionada a cada uno de los elementos y
534 conceptos que formaron parte del sistema que se buscó obtener con el fin de poder
535 trabajar adecuadamente con el fotodiodo BPW21R. En este caso, dicha documenta-
536 ción consistió en hojas de datos e información sobre amplificadores operacionales,
537 sensores ADC haciendo énfasis en sus propiedades como frecuencia de opera-
538 ción, resolución, condiciones de operación y en como estas características se veían
539 afectadas o afectaban al componente encargado de controlar y obtener los datos
540 de dicho dispositivo que, para este trabajo, se utilizó un modulo ESP-WROOM-32
541 que tiene un precio de 200 pesos mexicanos que trabajara en complemento con un
542 ADS1115, un ADC de 16-bit de resolución, de un precio de 200 pesos mexicanos.

543 Con base en la etapa de diseño se obtuvo el diseño preliminar que se mues-
544 tra en la Figura 9 para el amplificador de transimpedancia:

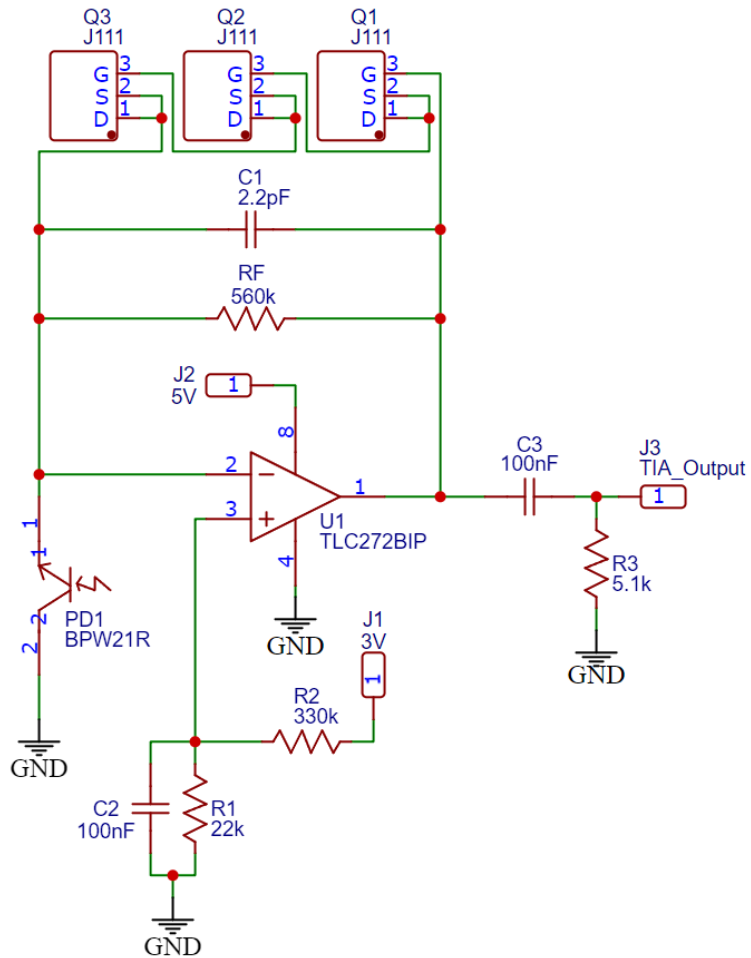


Figura 9: Propuesta previa a simulación del amplificador de trasimpedancia

545 Como se mencionó previamente, el amplificador de trasimpedancia tiende a
 546 ser inestable en función de la frecuencia de operación. Considerando que las condi-
 547 ciones bajo las cuales estará operando el fotodiodo requieren ser de alta frecuencia,
 548 es necesario realizar ajustes para mitigar lo mejor posible estos factores y esto se
 549 realizó de dos maneras. La primera simplemente consistió en añadir un capacitor
 550 en la retroalimentación del circuito y otro en paralelo al fotodiodo, únicamente pa-
 551 ra tener una señal más limpia y evitar la inestabilidad del OPAMP. Para la segunda
 552 manera se agregó una sección en la entrada no inversora del OPAMP para evitar
 553 su saturación, esto debido a que se sigue una configuración denominada *rail-to-rail*,
 554 esta configuración se da cuando se usan voltajes muy cercanos al voltaje de alimen-
 555 tación. Mediante el arreglo de las resistencias R_1 y R_2 y el capacitor C_2 se mantiene
 556 un voltaje de referencia del orden de los milivoltios, lo cual evitará que el OPAMP lle-

557 que o sobrepase el límite que lo pondría en saturación. Este procedimiento también
558 se puede realizar para cuando se requiera evitar que el OPAMP sobrepase el límite
559 superior, sin embargo, esto se puede evitar con utilizar correctamente la resistencia
560 de retroalimentación o incluir algún JFET en configuración de diodo o directamente
561 un diodo tipo Schottky por que estos elementos idealmente consumirán $0.7 [V]$, con
562 lo cual evitaría que se sobrepasara este límite.

563 . **Segunda etapa: Implementación**

564 La primera implementación se realizó de manera simulada utilizando el soft-
565 ware **Multisim**, mediante la simulación se obtuvieron resultados que permitieron ob-
566 servar el comportamiento ideal del sistema de acondicionamiento de señal para el
567 fotodiodo. Lo más destacable de estos resultados es que debido a que el fotodiodo
568 se esta utilizando en polarización inversa tiende a ser más sensible ante la luz en-
569 trante y, en consecuencia, emitir corrientes de $27 [\mu A]$ que son tres veces mayores
570 a las indicadas en la hoja de datos, considerando que el ADC ADS1115 soporta
571 máximo un voltaje de entrada de $5 [V]$ fue necesario utilizar un divisor de voltaje a
572 la salida del amplificador de trasimpedancia para poder utilizar adecuadamente este
573 elemento.

574 Basado en lo anterior, el circuito final para el amplificador de trasimpedancia
575 se muestra en la Figura 10.

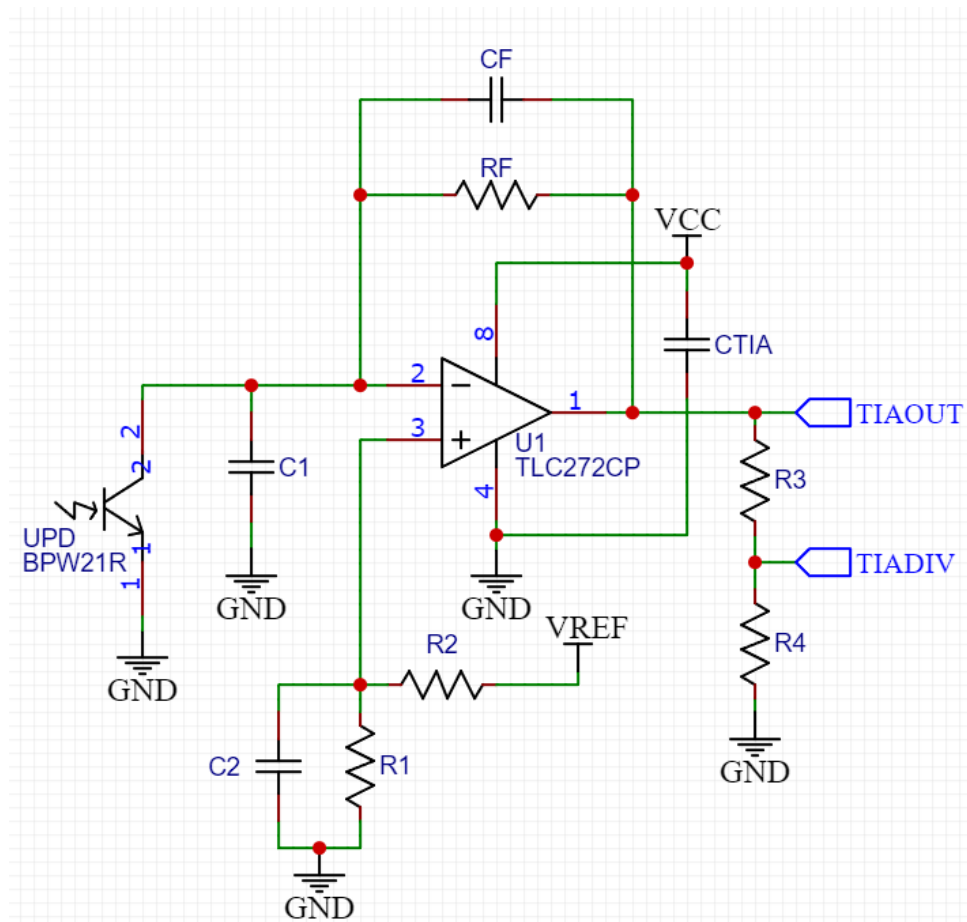


Figura 10: Diseño final para el amplificador de trasimpedancia.

576 El diseño es relativamente simple, se utilizaron más capacitores para poder
 577 obtener una señal más limpia tanto en la entrada como en la salida del amplificador
 578 de trasimpedancia. También se observa que no se utilizaron JFETs ni un diodo tipo
 579 Schottky para evitar que sobrepase el límite superior, esto es debido a que al realizar
 580 la simulación y la experimentación física en una placa de pruebas o protoboard, se
 581 observó que el voltaje máximo a la salida es de entre 7 [V] y 7.4 [V], con lo cual
 582 nunca sobrepasa dicho límite.

583 En su lugar, se incluyó un capacitor de desacoplo para el OPAMP, esto se
 584 realiza en todos los circuitos integrados que se utilizan en un diseño con el fin de
 585 eliminar la componente CA que se encuentra invadiendo una señal con el fin de
 586 obtener únicamente la componente CC.

587 . **Tercera etapa: Ejecución**

588 Como se mencionó previamente, la ejecución se realizó de dos maneras;
589 simulada en el software **Multisim** y física en una placa de pruebas o protoboard.

590 Ambas ejecuciones arrojaron resultados muy similares, obviamente una si-
591 mulación considera un entorno ideal para el circuito, con lo cual, las afectaciones
592 climáticas o de ruido no son del todo visibles en este apartado, sin embargo, permiti-
593 tió obtener un panorama más claro de los elementos que se pueden y no seleccionar
594 para este trabajo.

595 . **Justificación de los componentes seleccionados para el siste-
596 ma de acondicionamiento de señal**

597 . **Etapa 1: ESP-WROOM-32 y ADS1115 como medios de captura y procesa-
598 miento**

599 En un primer momento se considero el uso de una FPGA o un STM32 para
600 realizar la tarea de lectura, captura y procesamiento de la señal ADC, sin embargo,
601 conforme se trabajó en el proyecto se propuso implementar el internet de las cosas
602 o mejor conocido como IoT. Esto conllevó a buscar un dispositivo que combinara
603 capacidad de puertos y velocidad de procesamiento con disponibilidad de comuni-
604 cación WiFi, y esta búsqueda culminó con la tarjeta ESP-WROOM-32.

605 NodeMCU-32 es el nombre real de este modulo, sin embargo, se le llama
606 ESP-WROOM-32 por que es el procesador que opera dicha tarjeta, esta misma pro-
607 vee de 25 puertos de entrada y salida digital que pueden ser utilizados como puertos
608 ADC o como puertos de comunicación I²C, SPI, RS232, etc. Su procesador puede
609 ser configurado para trabajar en frecuencias de entre 80 [MHz] y 240 [MHz] y po-
610 see la capacidad de utilizar tecnología WiFi y Bluetooth sin necesidad de incorporar
611 módulos externos.

612 Por otro lado, el ADS1115 se selecciono dado que se requiere realizar lec-
613 turas de voltaje precisas y continuas, si bien es cierto que la propia ESP32 tiene
614 esta capacidad, el ADS1115 ofrece una resolución de 16-bits, esto nos permite leer
615 valores del orden de los 200 [mV] y esto pudo ser comprobado fácilmente durante
616 la experimentación física.

617 A modo de conclusión, estos elementos fueron seleccionados dadas las
618 necesidades que requiere utilizar IoT y la precisión de este trabajo.

619 . **Etapa 2: Alimentación del acondicionador de señal**

620 Para la alimentación del circuito se requirió utilizar de dos convertidores
621 DC-DC tipo Buck para los respectivos voltajes que se utilizan en el PCB, en este
622 caso se utilizó uno denotado como V_{REF} y otro denotado como VCC_{OPAMP} respec-
623 tivamente; el primero funciona para las referencias de voltaje de los amplificadores
624 operacionales que se utilizaron en el circuito y el segundo para la alimentación los
625 mismos tal y como se muestra en la Figura 11.

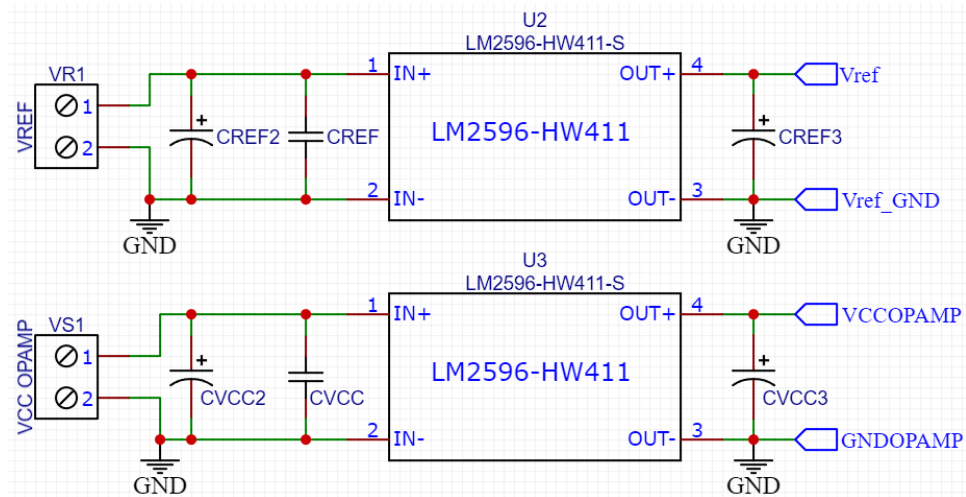


Figura 11: Diagrama de conexiones de la etapa 2 para el PCB

626 Se pudo haber diseñado un convertidor DC-DC síncrono tipo Buck utili-
627 zando transistores tipo MOSFET, pero esto requería generar un PWM de al menos
628 $100 [kHz]$ de frecuencia para conmutar los transistores y utilizar pines de la ESP32
629 como realimentación del convertidor con el fin de evitar que el voltaje de salida suba
630 o baje en función de la carga, pero esto conllevaba a utilizar más espacio en el
631 PCB y más recursos que al final del día se ven reflejados en este modulo pero de
632 una forma sintetizada ya que utiliza el LM2596 que prácticamente realiza la tarea
633 mencionada anteriormente por su cuenta.

634 . **Etapa 3: Amplificador de trasimpedancia**

635 En la Figura 12 se observa el diseño del amplificador de trasimpedancia
636 que se obtuvo tanto a partir de la teoría como de la experimentación que permitió
637 basarse en prueba y error. En un principio se contempló el uso de transistores JFET
638 como medio de protección del circuito y como limitante para evitar la saturación

639 hacía el polo positivo del OPAMP, pero esto fue rápidamente descartado puesto que
640 esta técnica es recomendable para cuando se trabajará con voltajes de nivel TTL,
641 es decir, 3.3 [V] y para este proyecto esa no fue la intención dado que el suministro
642 de energía no es una limitante.

643 Como se mencionó previamente, los capacitores funcionan como medios
644 estabilizadores del circuito ya que esta aplicación de los amplificadores operacio-
645 nales tiende a ser particularmente inestable debido al tipo de señal que se esta
646 manejando. Lo anterior resulta más claro cuando se entiende que en un OPAMP
647 idealmente no hay flujo de corriente a través de sus terminales y es por ello que es-
648 tos dispositivos tratan de que el voltaje en sus terminales de entrada sea el mismo.

649 Esto conlleva a que al utilizar un dispositivo que emite una señal de co-
650 rriente y no de voltaje en función de la luz, se requiera tener particular cuidado al
651 momento de operar este circuito en altas frecuencias, es por ello que se seleccionó
652 el TLC272, un OPAMP de tipo rail-to-rail con una alta impedancia en sus entradas
653 lo cual garantiza dos cosas: evitar el uso de una alimentación de voltaje negativa y
654 que la corriente no fluya a través de las terminales del OPAMP.

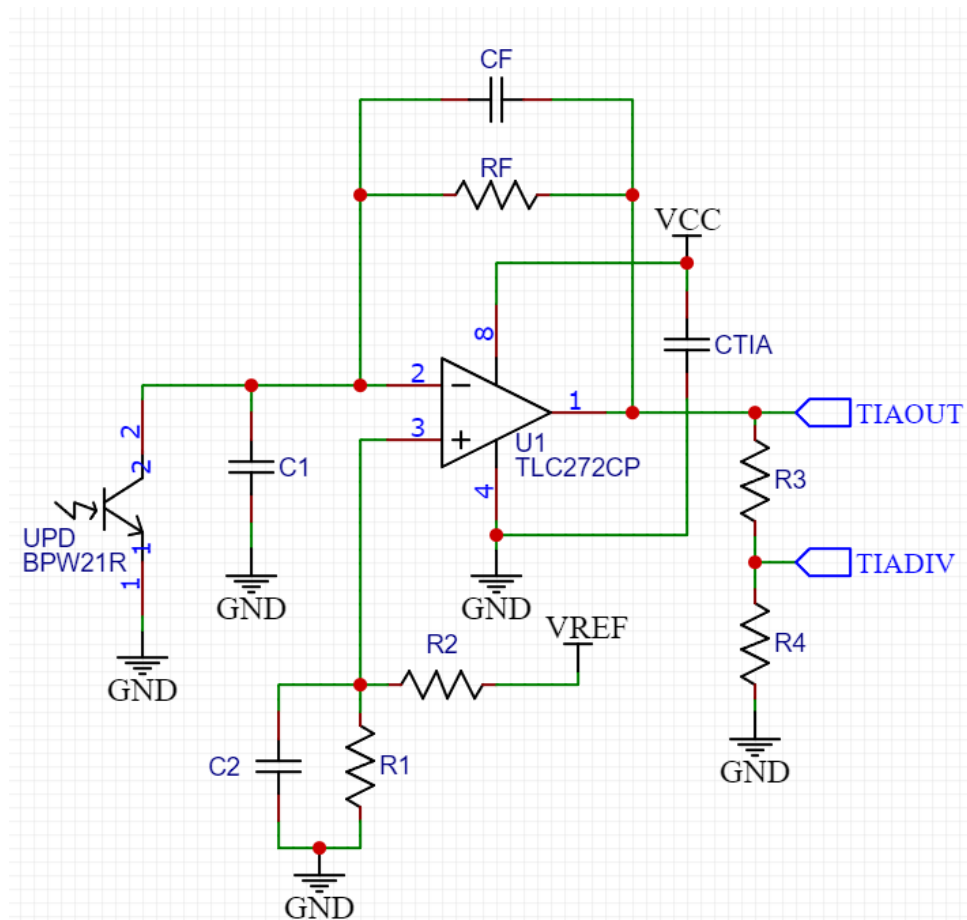


Figura 12: Diagrama de conexiones de la etapa 3 para el PCB

655 Esencialmente, son los capacitores C_1 y C_F los que se encargan de realizar
 656 esta tarea de estabilización, aunque el arreglo de resistencias y capacitores que
 657 sirve como limite en la entrada no inversora del OPAMP también impactan en este
 658 ámbito.

659 . **Etapa 4: Comparador unitario**

660 Un comparador es un elemento electrónico que permite obtener dos señales
 661 en las entradas del OPAMP y en función de su valor emitir una salida en alto o en
 662 bajo, esto se realiza para cuando se busca "digitalizar" una señal.

663 En este caso lo que se realizó fue el circuito de la Figura 13 que compara la
 664 señal de salida del divisor de voltaje realizado en la etapa previa con una referencia
 665 de voltaje fija que se conecta en la entrada inversora del OPAMP, si la señal del

666 divisor de voltaje de la etapa previa es mayor a la referencia de la entrada inversora
667 entonces la salida del OPAMP será de 3.3 [V] gracias al divisor de voltaje en la salida
668 del mismo, en caso contrario será de 0 [V] idealmente, aunque en la simulación y
669 experimentación se obtuvieron valores de 35 [mV].

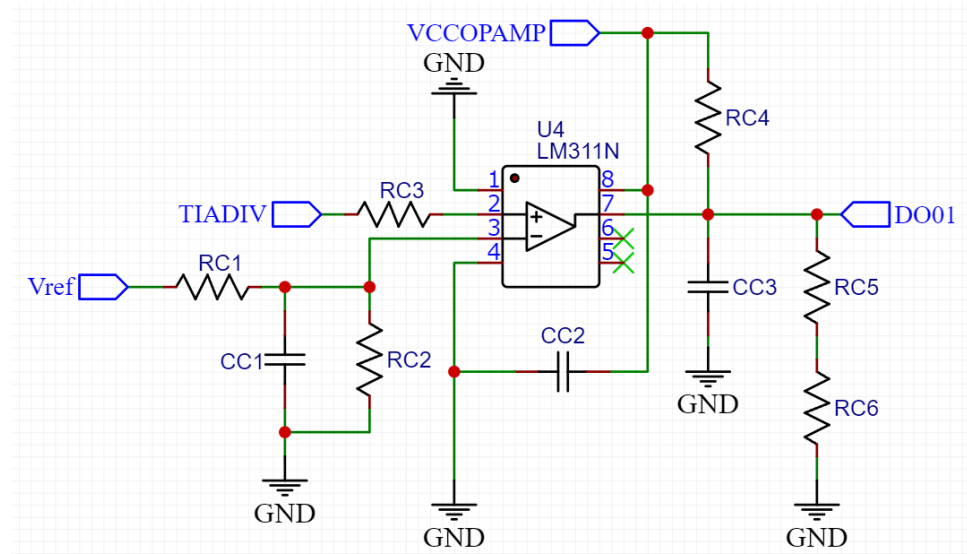


Figura 13: Diagrama de conexiones de la etapa 4 para el PCB

670 Se optó por utilizar el LM311 porque aunque es posible tomar cualquier
671 OPAMP y configurarlo como comparador, es mejor utilizar uno que este diseñado
672 específicamente para esta tarea, de esta forma se evitan errores en el diseño y/o
673 utilizar alimentaciones negativas.

674 . **Etapas 5: Comparadores en configuración de doble limite**

675 La Figura 14 muestra la configuración necesaria para disponer de un cir-
676 cuito comparador que maneje dos límites. Previamente en la etapa 4 se observó el
677 circuito comparador básico, donde se tiene una entrada variable y una referencia fija,
678 dado que para este proyecto el voltaje de salida del amplificador de trasimpedancia
679 varía mucho y en pequeña medida debido a la corriente emitida por el fotodiodo, fue
680 necesario utilizar esta configuración de doble límite para colocar rangos de voltaje
681 de detección dentro de los cuales los OPAMPs enviarán 3.3 [V] o 35 [mV] sea el
682 caso correspondiente.

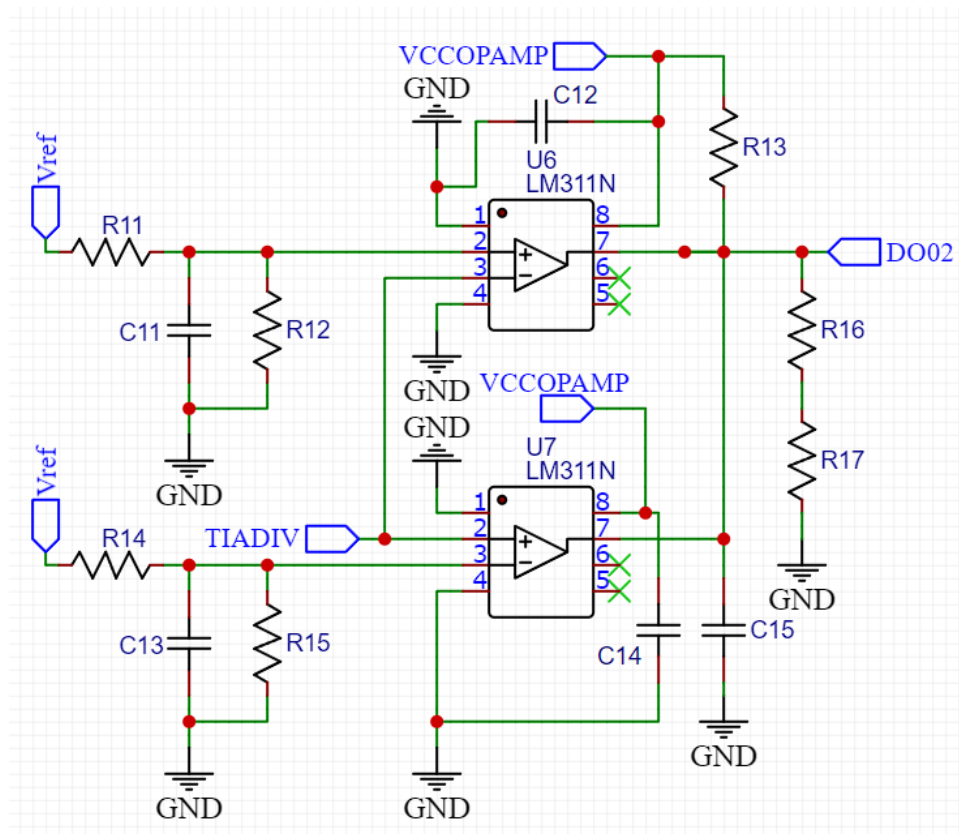


Figura 14: Diagrama de conexiones de la etapa 5 para el PCB

683 A pesar de que hay circuitos integrados que contienen dos o hasta cuatro
 684 comparadores en un solo elemento como el LM339, considere adecuado seguir
 685 utilizando comparadores individuales para esta tarea simplemente por cuestiones
 686 de diseño y disposición de los elementos en el PCB.

687 . **Etapa 6: Implementación de un PCB para el circuito**

688 En la Figura 15 y la Figura 16 se observan las vistas correspondientes a
 689 la capa superior e inferior respectivamente del PCB diseñado para este sistema
 690 acondicionador de señal.

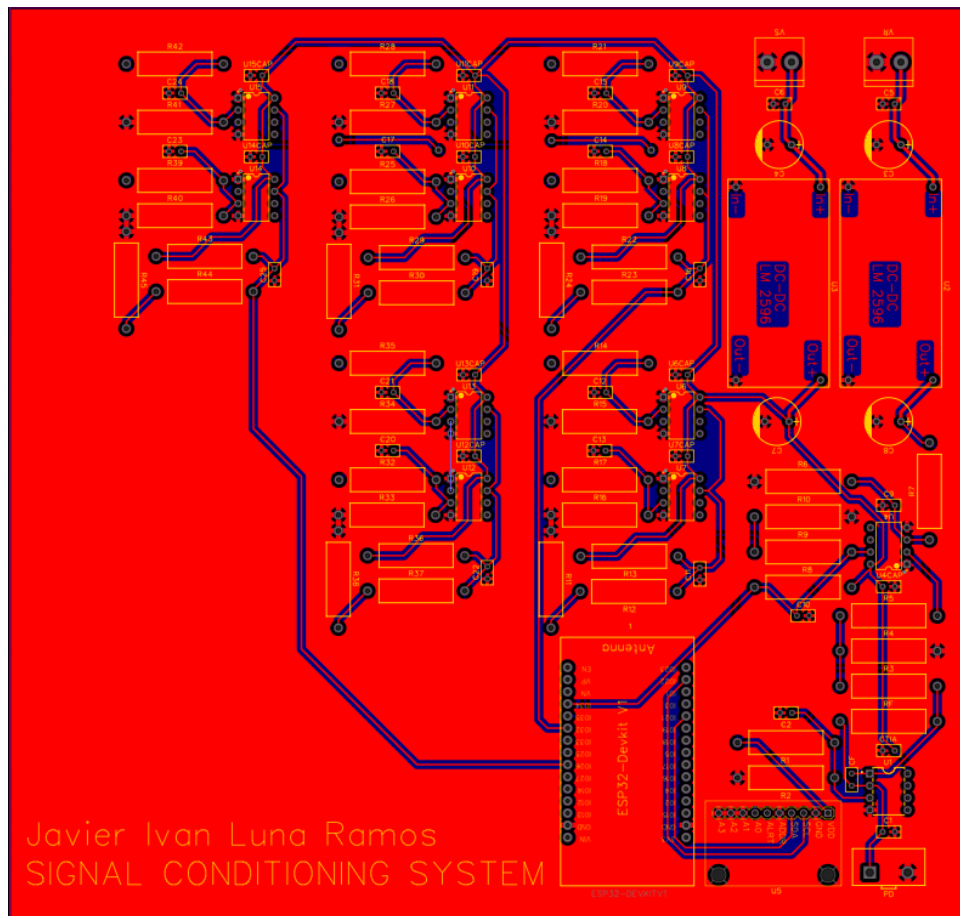


Figura 15: Capa superior del PCB

691 Se decidió realizar en dos capas porque aunque se hiciera un plano de
692 tierra común era muy complicado evitar que las pistas se encontraran demasiado
693 cercas unas de otras.

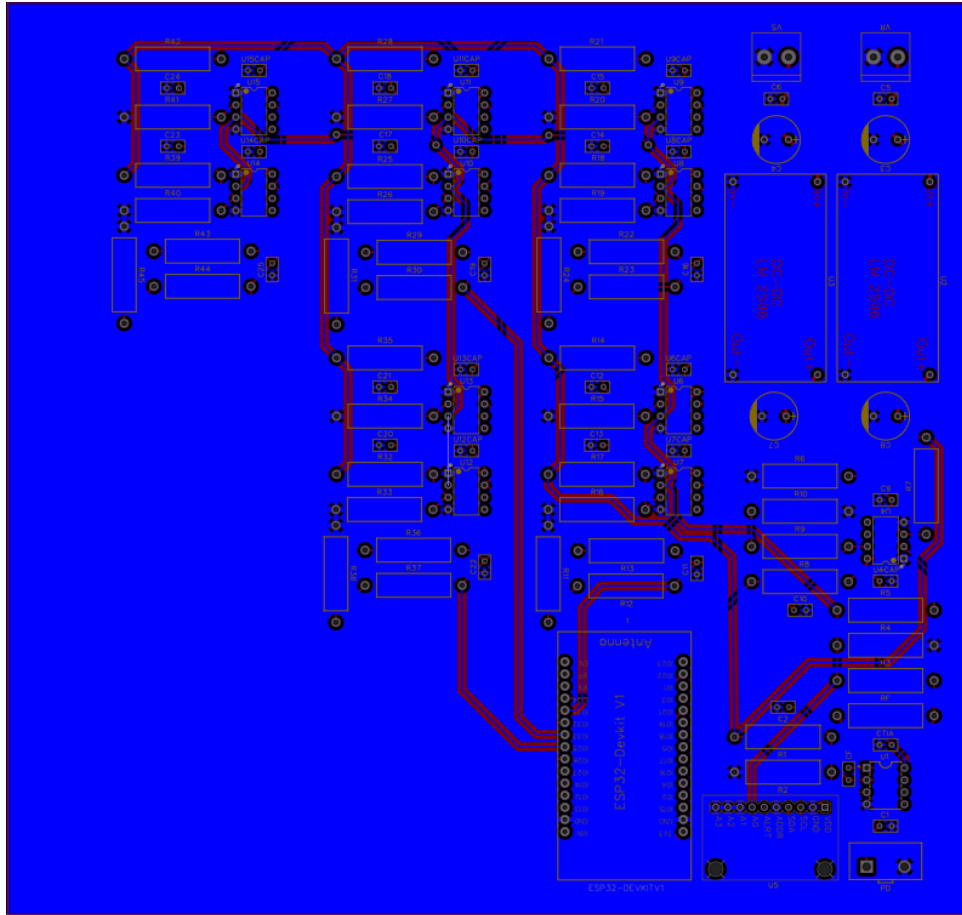


Figura 16: Capa inferior del PCB

694 Las pistas de alimentación del convertidor DC-DC tipo Buck son de 30 [mils]
695 que equivalen a 0.762 [mm], y las pistas que transfieren la señal del fotodiodo, los di-
696 visores de voltaje, las salidas de los comparadores y las alimentaciones de todos los
697 amplificadores operacionales utilizados son de 15 [mils] que equivalen a 0.381 [mm],
698 esto se realizó en función de la siguiente tabla:

Tabla 7: Ancho de la pista del PCB [Altium, 2019].

Corriente [A]	Ancho la pista [$mils$]
1 [A]	10 [$mils$]
2 [A]	30 [$mils$]
3 [A]	50 [$mils$]
4 [A]	80 [$mils$]
5 [A]	110 [$mils$]
6 [A]	150 [$mils$]
7 [A]	180 [$mils$]
8 [A]	220 [$mils$]
9 [A]	260 [$mils$]
10 [A]	300 [$mils$]

699 . **Banco de pruebas y diseño de pruebas preliminares**

700 El Banco de pruebas empleado para las pruebas del diseño propuesto con-
 701 sistió en un par de protoboards o placas de prueba y dos fuentes de voltaje pe-
 702 queñas y comerciales de 5 [V] y 12 [V].

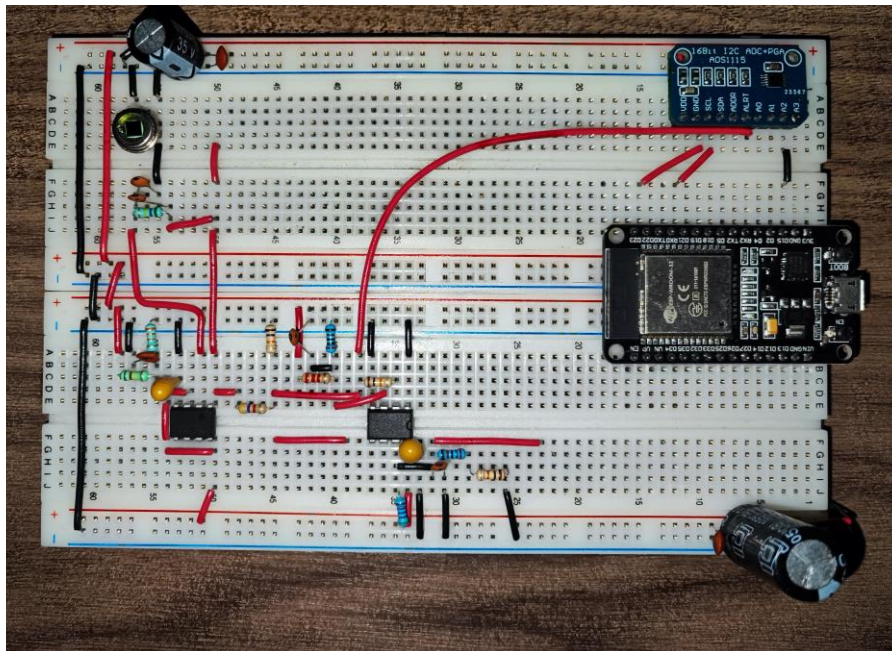


Figura 17: Banco de pruebas para BPW21R

703 En la Figura 17 se observa la etapa principal del sistema de acondiciona-
704 miento de señal que consiste en el amplificador de transimpedancia y en el primer
705 comparador de voltaje que activa el primer límite basado en la señal del fotodiodo
706 BPW21R.

707 También se observa la tarjeta ESP32 y el modelo de ADC ADS1115 los
708 cuales funcionan en conjunto mediante un código de prueba realizado mediante el
709 IDE de Arduino para fines prácticos y depuración de código y diseño.

710 El código desarrollado utiliza el modulo ADS1115 y el modulo WiFi de la
711 tarjeta ESP32, permitiendo capturar el valor de voltaje de salida del amplificador
712 de transimpedancia con una resolución de 16-bits y en una tasa de actualización
713 de $250 [ms]$, es decir, permite capturar cuatro respuestas del sensor por segundo.
714 Así mismo, el código habilita una conexión WiFi mediante dos variables: la SSID
715 y la contraseña del modulo que se quiera utilizar, esto permite que se realice una
716 transmisión de los datos capturados por el modulo ADS1115 a una base de datos
717 en línea conocida como ThinkSpeak.

718 ThinkSpeak es una plataforma en línea que permite adquirir y mostrar da-
719 tos recibidos de una manera adecuada y agradable para su visualización e inter-
720 pretación. Si bien es cierto que ThinkSpeak ofrece una versión de uso gratuita, es
721 necesario recalcar que esta versión incluye la limitante de que se actualiza cada 15

722 segundos, con lo cual, para esta aplicación, al menos en su versión gratuita, resultado
723 útil para las pruebas realizadas con el fin de verificar la funcionalidad del circuito y
724 observar las capacidades del modulo ESP32.

725 . **Determinación de una metodología mediante las característi-**
726 **cas del diodo InGaAs para seleccionar los elementos mecáni-**
727 **cos**

728 Finalmente para la parte que se encargará en forma de separar las botellas
729 de PET se propone la implementación de pistones neumáticos. Para esta imple-
730 mentación en la metodología es necesario considerar factores como longitud, peso,
731 velocidad de accionamiento, tipo de accionamiento y la presión mínima que requiere
732 el pistón para ejecutar la tarea de manera óptima [Solé, 2012]. Todo esto se realizó
733 en función de las características de cada elemento mecánico, eléctrico y electrónico
734 que pueda formar parte del sistema de clasificación, así mismo, se utilizaron herra-
735 mientas como las *Core Tools* que son herramientas que en la industria automotriz
736 permiten diseñar, desarrollar, prevenir, medir, controlar, registrar, analizar y aprobar
737 productos y servicios de calidad que satisfagan las necesidades y expectativas del
738 cliente [Olmedo-Méndez, 2017].

739 . **Diseño eléctrico del sistema de clasificación**

740 En la Figura 18 se ilustra el moto reductor que se utilizo, con 1750 revolu-
741 ciones por minuto y con un reductor de cien a uno lo que equivale a dar dieciocho
742 vueltas en un minuto.



Figura 18: Moto-reductor en el sistema mecánico.

743 En las Figuras 19 y 20, se ilustra el procedimiento que se llevo para la cone-

744 xión y puesta en marcha del moto-reductor. Consta de cinco botones; dos botones
745 habilitadores de cada motor que son parte del PLC, dos botones para indicar el giro
746 del motor y un botón de paro total.

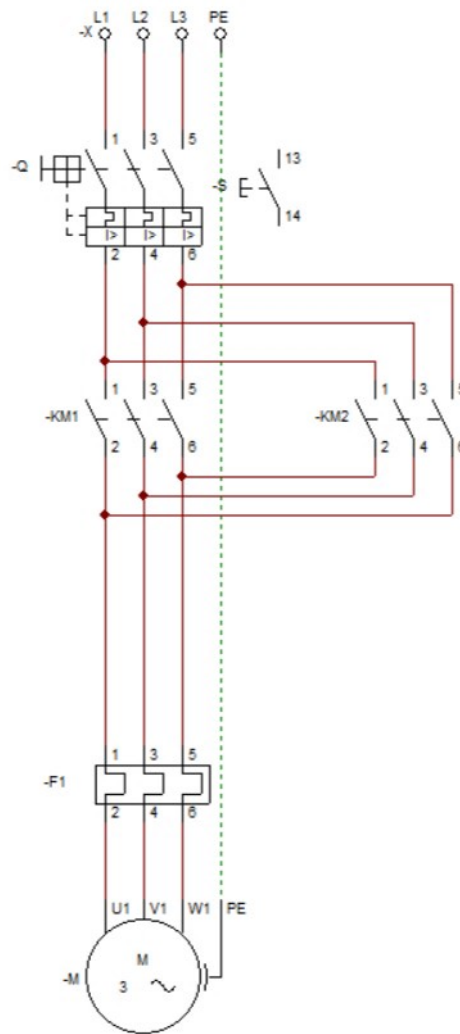


Figura 19: Diagrama de conexiones para el motor.

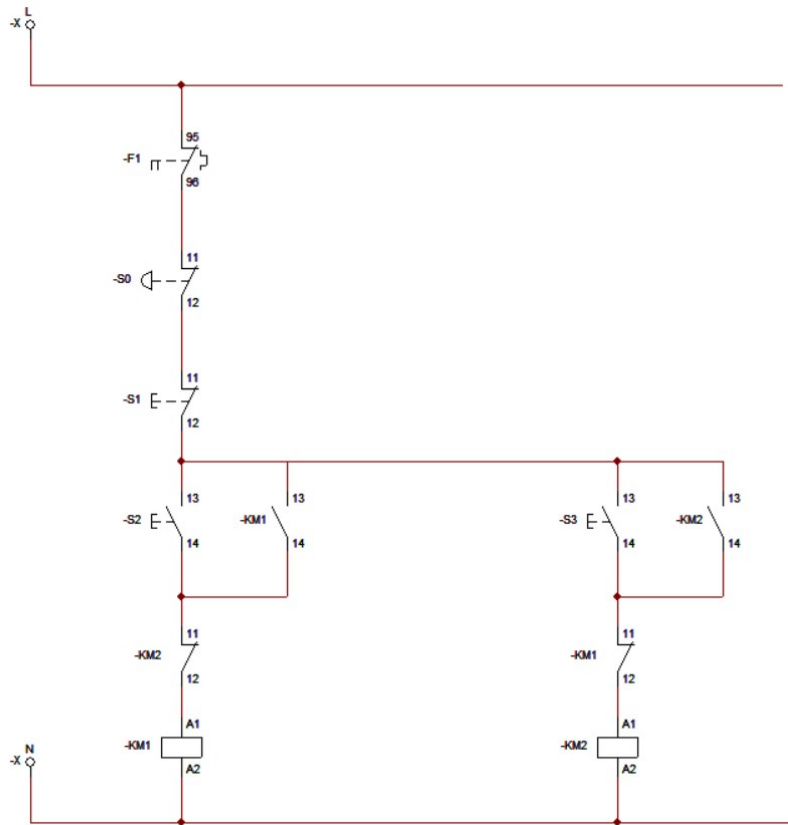


Figura 20: Diagrama de conexiones de potencia.

747 En las figuras 21, se ilustra el procedimiento que se llevo para la conexión
 748 y puesta en marcha del moto-reductor. Tiene cinco botones uno de paro de emer-
 749 gencia. Dos de arranca de color verde uno para ir al frente y otro para reversa. Dos
 750 botones de dos polos dos tiros para dar pulsos ya sea de frente o de reversa.



Figura 21: Pruebas de las conexiones en la etapa de potencia.

751 . Programa de arranque de motores

752 Para que la experimentación y la adquisición de todos los datos se desa-
753 rrollo una página web que junto con el servidor del PLC funcionan para activar y
754 desactivar los motores de la banda transportadora y del sistema de identificación.
755 Por recomendación del fabricante, se recomienda utilizar el navegador web Firefox.
756 En la Tabla 8 se detallan los tipos de variables que se utilizaron para el motor uno
757 y para el motor dos. Físicamente cada PLC tiene un número limitado de entradas y
758 eso dificulta la automatización cuando se requieren de muchas entradas. La finali-
759 dad principal de hacer una pagina web para controlar las entradas de los motores es
760 por las ventajas que proporciona al poder definir n cantidad de entradas y procesar
761 esa información internamente con el PLC. En la Tabla 9 se describen las catorce en-
762 tradas que utiliza el sistema mecánico para funcionar. Para ver los códigos utilizados
763 para la puesta en marcha véase los Apéndices del 1 al 4.

Tabla 8: motor_DB[DB1] y motor_DB_Dos[DB3]

id	Nombre	Tipo de dato	Nombre	Tipo de dato
Entrada				
1	reset	Bool	reset	Bool
2	start	Bool	start	Bool
3	inicioAdelante	Bool	inicioAdelante	Bool
4	stop	Bool	stop	Bool
5	inicioAtras	Bool	inicioAtras	Bool
6	pasoAdelante	Bool	pasoAdelante	Bool
7	pasoAtras	Bool	pasoAtras	Bool
Salida				
8	adelante	Bool	adelante	Bool
9	atras	Bool	atras	Bool
10	Enable	Bool	Enable	Bool
Estática				
11	R_Trig_reset	R_TRIG	R_Trig_reset	R_TRIG
12	Step	Array[0..2]	Step	Array[0..2]
13	pulso	Array[0..2]	pulso	Array[0..2]

Tabla 9: TestDB[DB2]

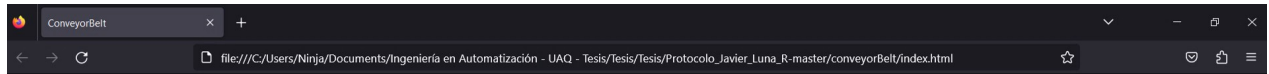
id	Nombre	Tipo de dato
Estática		
1	ResetWeb	Bool
2	StartWeb	Bool
3	InicioAdelanteWeb	Bool
4	StopWeb	Bool
5	InicioAtrasWeb	Bool
6	pasoAdelanteWeb	Bool
7	pasoAtrasWeb	Bool
8	ResetWeb_2	Bool
9	StartWeb_2	Bool
10	InicioAdelanteWeb_2	Bool
11	StopWeb_2	Bool
12	InicioAtrasWeb_2	Bool
13	pasoAdelanteWeb_2	Bool
14	pasoAtrasWeb_2	Bool

764

En la Figura 24 se ilustra el diagrama de bloques con el servidor web con

765

el PLC.



Pruebas con la banda transportadora y el sistema de identificación, controlado por un PLC Siemens y una página web.

Motor 1				
Tipo	Nombre	Valor actual	Nuevo valor	Botón
Variables del Motor 1				
BOOL	"TestDB".ResetWeb	:= "TestDB".ResetWeb:	1	Enviar
BOOL	"TestDB".StartWeb	:= "TestDB".StartWeb:	1	Enviar
BOOL	"TestDB".InicioAdelanteWeb	:= "TestDB".InicioAdelant	1	Enviar
BOOL	"TestDB".StopWeb	:= "TestDB".StopWeb:	1	Enviar
BOOL	"TestDB".InicioAtrasWeb	:= "TestDB".InicioAtrasW	1	Enviar
BOOL	"TestDB".pasoAdelanteWeb	:= "TestDB".pasoAdelant	1	Enviar
BOOL	"TestDB".pasoAtrasWeb	:= "TestDB".pasoAtrasW	1	Enviar

Motor 2				
Tipo	Nombre	Valor ActualCurrent Value	Nuevo Valor	Botón
Variables del Motor 2				
BOOL	"TestDB".ResetWeb_2	:= "TestDB".ResetWeb_2:	1	Enviar
BOOL	"TestDB".StartWeb_2	:= "TestDB".StartWeb_2:	1	Enviar
BOOL	"TestDB".InicioAdelanteWeb_2	:= "TestDB".InicioAdelant	1	Enviar
BOOL	"TestDB".StopWeb_2	:= "TestDB".StopWeb_2:	1	Enviar
BOOL	"TestDB".InicioAtrasWeb_2	:= "TestDB".InicioAtrasW	1	Enviar
BOOL	"TestDB".pasoAdelanteWeb_2	:= "TestDB".pasoAdelant	1	Enviar
BOOL	"TestDB".pasoAtrasWeb_2	:= "TestDB".pasoAtrasW	1	Enviar

Figura 22: Diseño de la página web con el *Servidor web*.

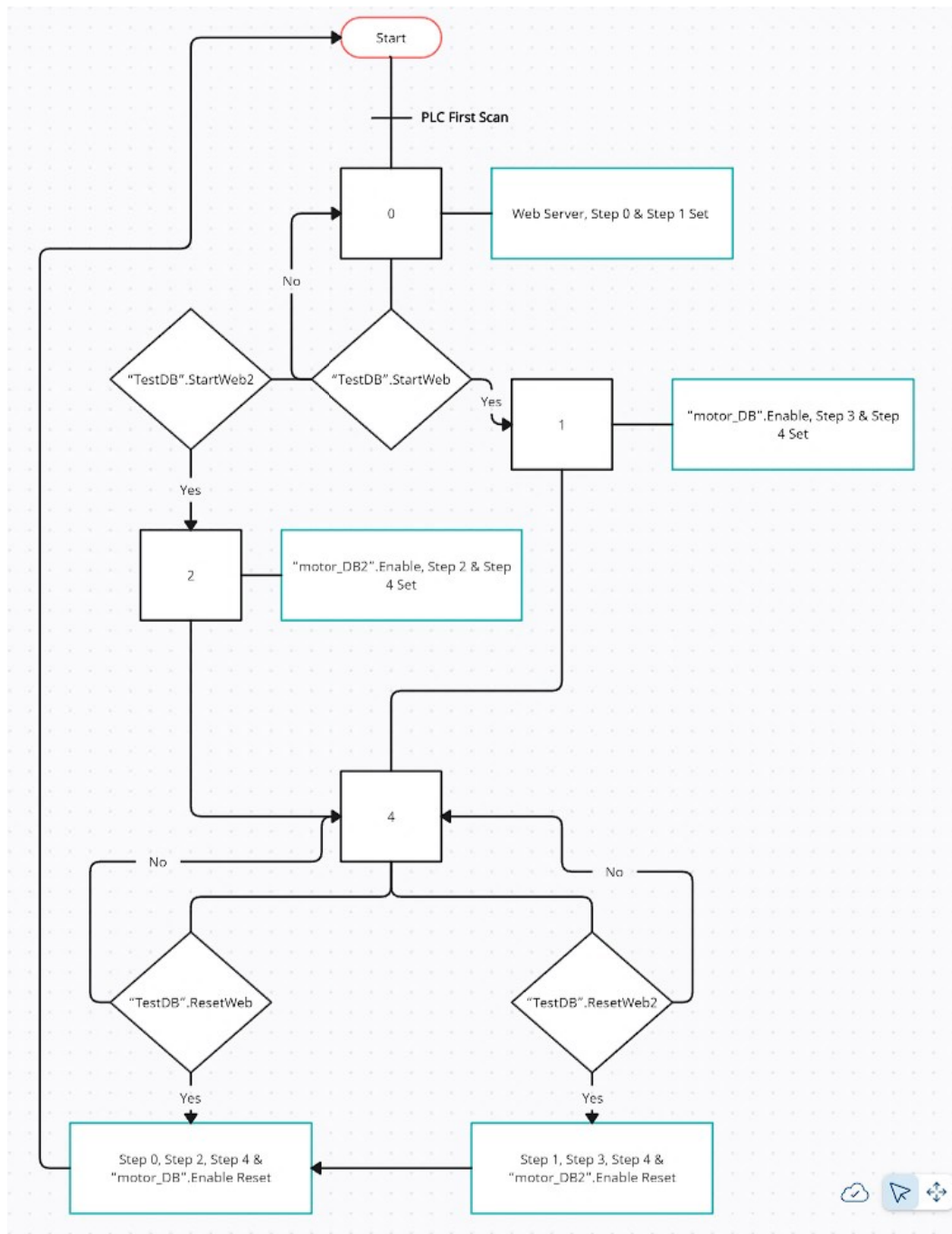


Figura 23: *Grafcet* utilizado para realizar el código del PLC.

766

767

En las siguientes Figuras 26, 28 29, 32, 33, 35, 36, 38, 39 se describen el programa que se utilizó para controlar los motores.

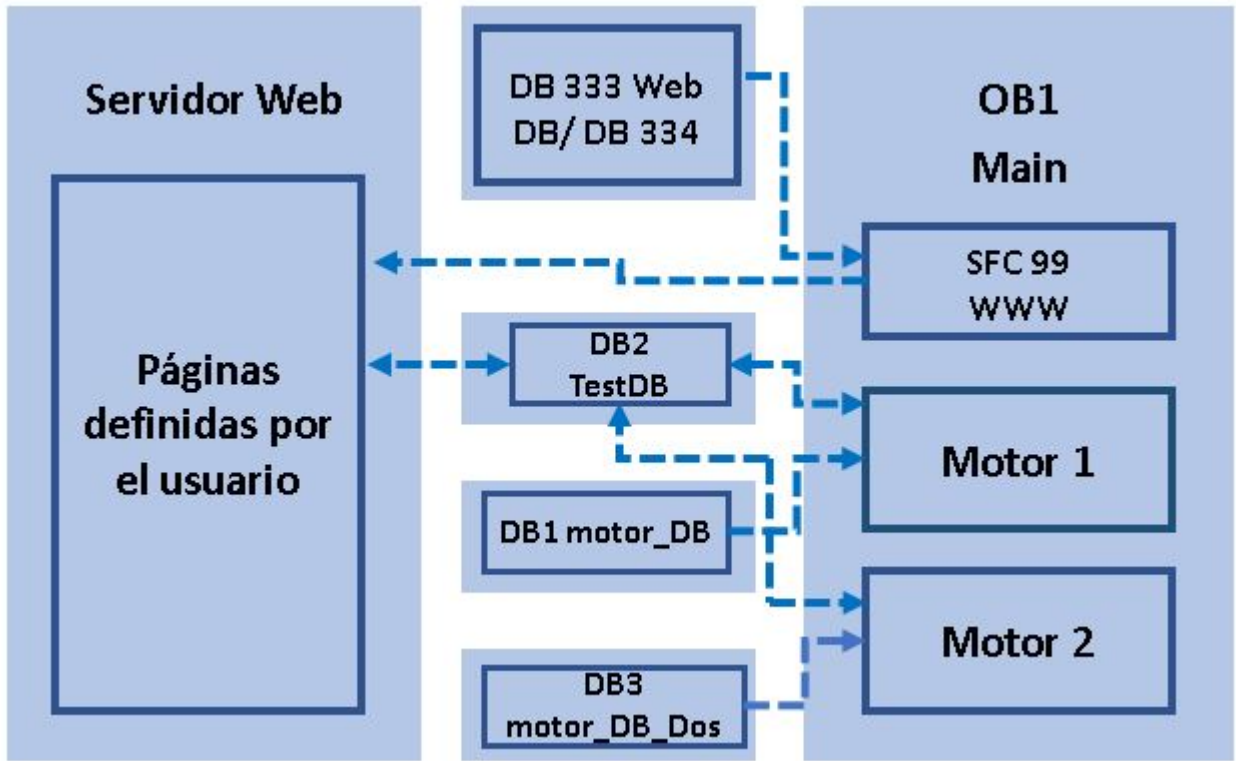


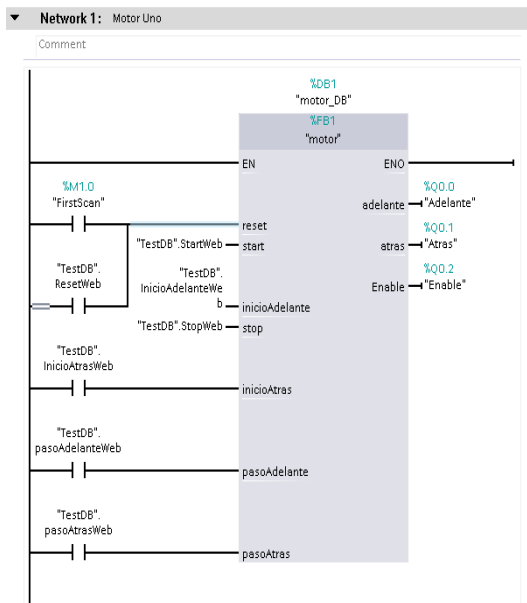
Figura 24: Diagrama de bloques del PLC para el servidor web.

768

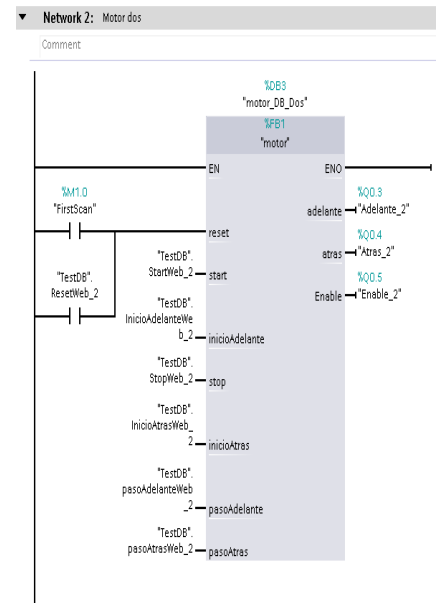
En las siguientes Figuras 25, 27, 30, 31, 34, 37, 40, 41. se describen el

769

programa que se utilizó para controlar los motores.



(a) Red 1 del motor número uno.



(b) Red 2 del motor número dos.

Figura 25: Descripción los bloques de código que controlan los motores.

770 La función de sistema WWW se llama en el OB1. Esta función inicializa el
 771 servidor web de la CPU. La llamada cíclica de la función en el OB1 permite la inter-
 772 acción entre el servidor web y el controlador. El Web DB (DB 333) está conectado a
 773 la función WWW.

774 La base de datos web y la base de datos de fragmentos almacenan la
 775 estructura de las páginas definidas por el usuario, véase la Figura 26.

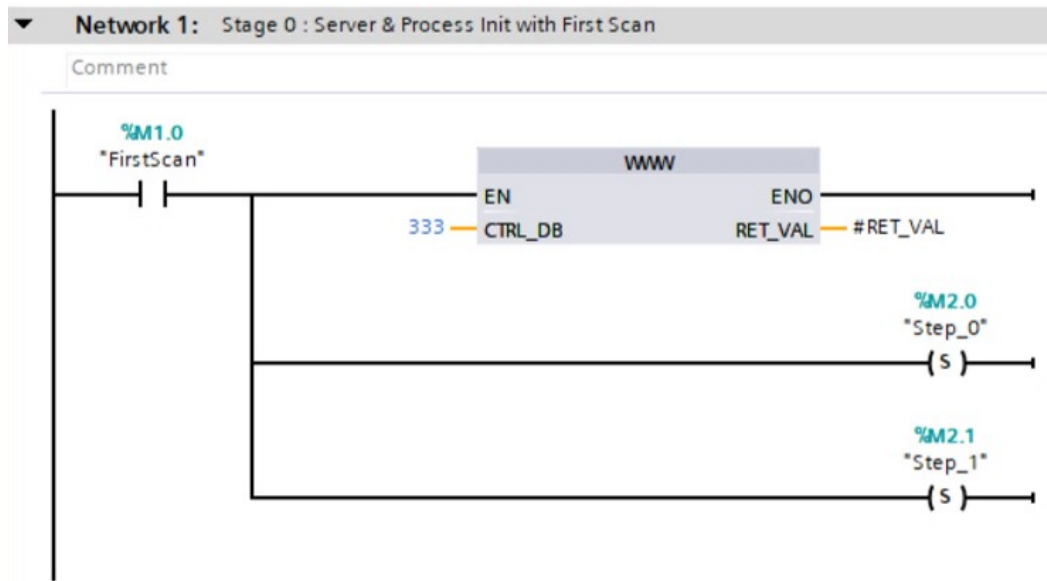


Figura 26: Red 1, inicialización del proceso y el *Servidor web* mediante el *First Scan* del PLC.

776 En la Figura 26 se describe la primer red del bloque de función que se
777 determino en el PLC.

778 La base de datos web y la base de datos de fragmentos almacenan la
779 estructura de las páginas definidas por el usuario, véase la Figura 27.

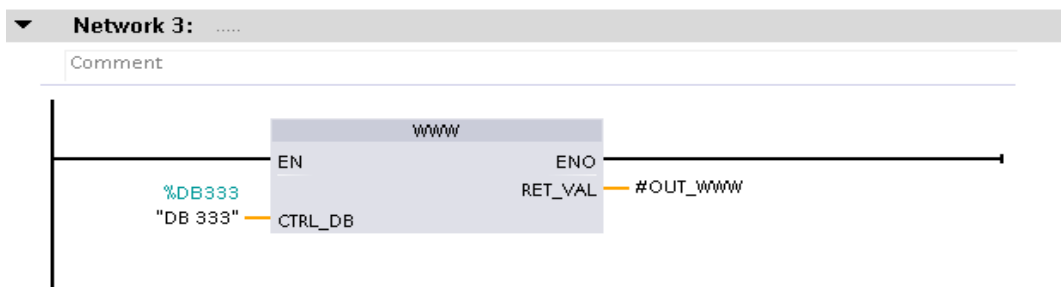


Figura 27: Red 3, Esta función de bloque inicializa el servidor web de la CPU.

780 En la Figura 30 se describe la primer red del bloque de función que se
781 determino en el PLC.

782 Consta de un disparador que se activa cuando el PLC hace su primer es-
783 caneo del sistema y sirve para inicializar todas las redes del programa.

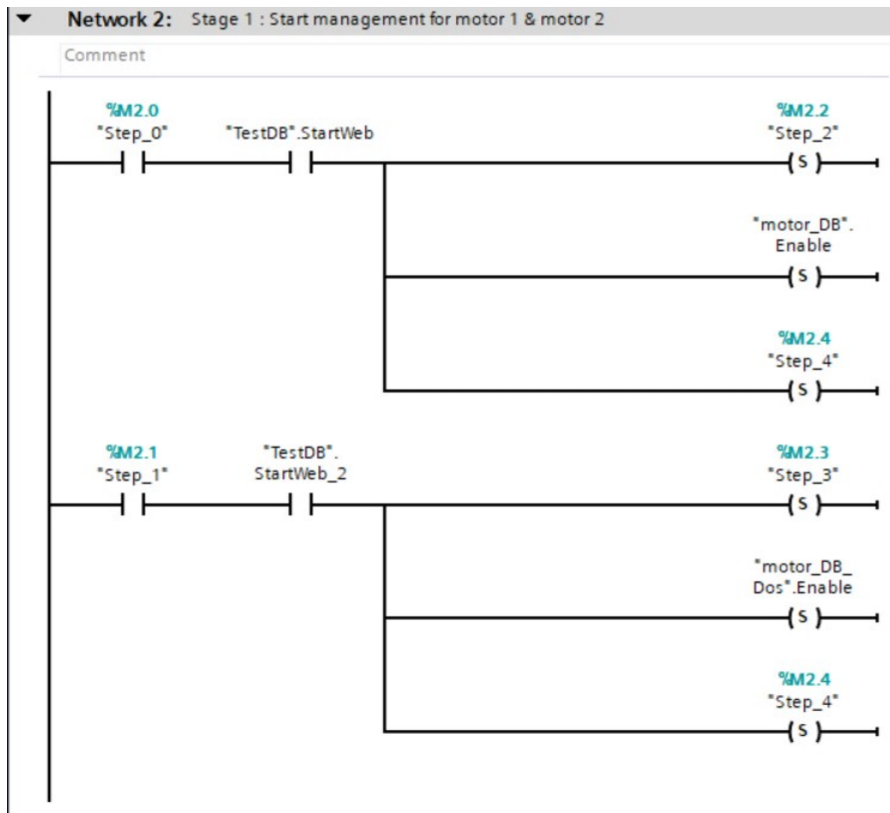


Figura 28: Red 2, habilitador de los motores para proceder a su funcionamiento.

784 En la Figura 28, se describe la acción que se toma una vez que se ejecutó
 785 la red 0, la cual espera a que se active el paso cero con el botón de **start**.

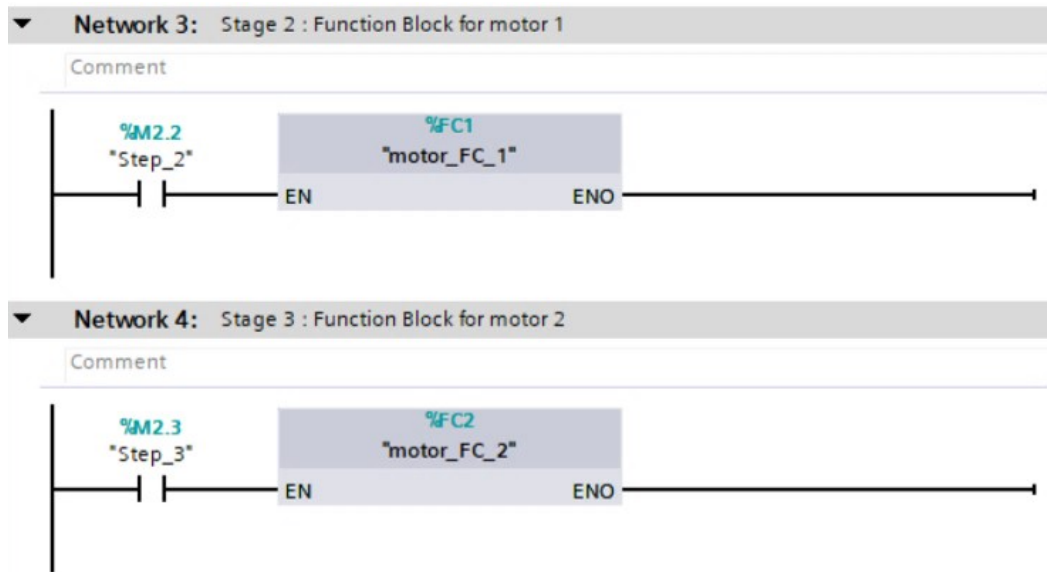


Figura 29: Red 3 y 4, *Bloque de funciones* del motor 1 y 2 que contienen el control.

```

Network 1: FirstScan
Comment
1  #R_Trig_reset(CLK:=#reset);
2
3  IF #R_Trig_reset.Q THEN
4      // Statement section IF
5      #Step[0]:=TRUE;
6  FOR #i := 1 TO 2 DO
7      // Statement section FOR
8      #Step[#i] := FALSE;
9  END_FOR;
10
11 END_IF;
12

```

Figura 30: Condiciones de activación para el bloque de función de los motores.

786 En la Figura 31 se describe la acción que se toma una vez que se ejecuto
787 la red 1, la cual espera a que se active el paso cero con el botón de **start**.

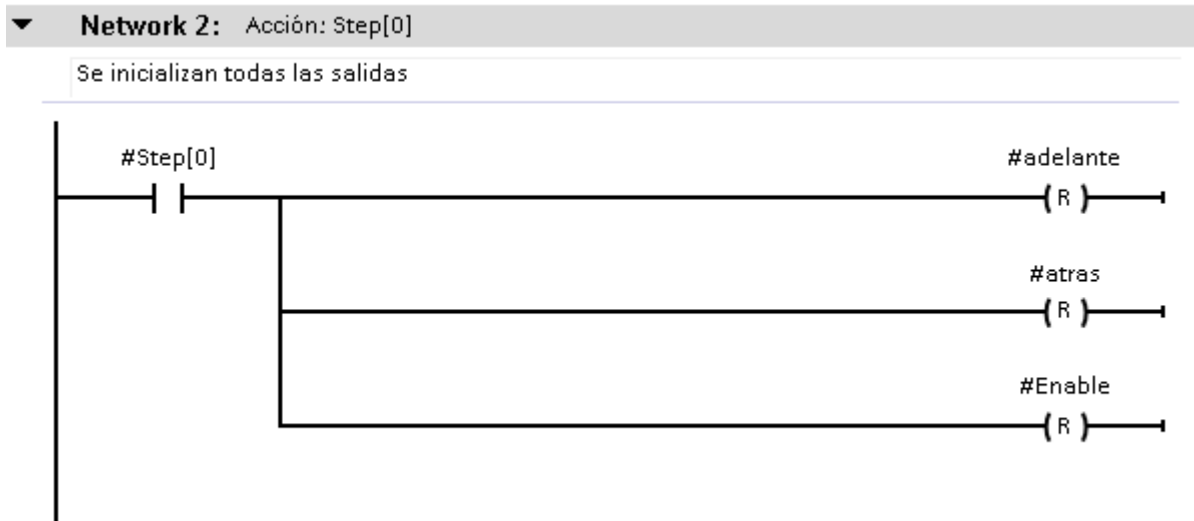


Figura 31: Red 2 Acción paso cero si esta en alto indica que el motor esta listo para arrancar.

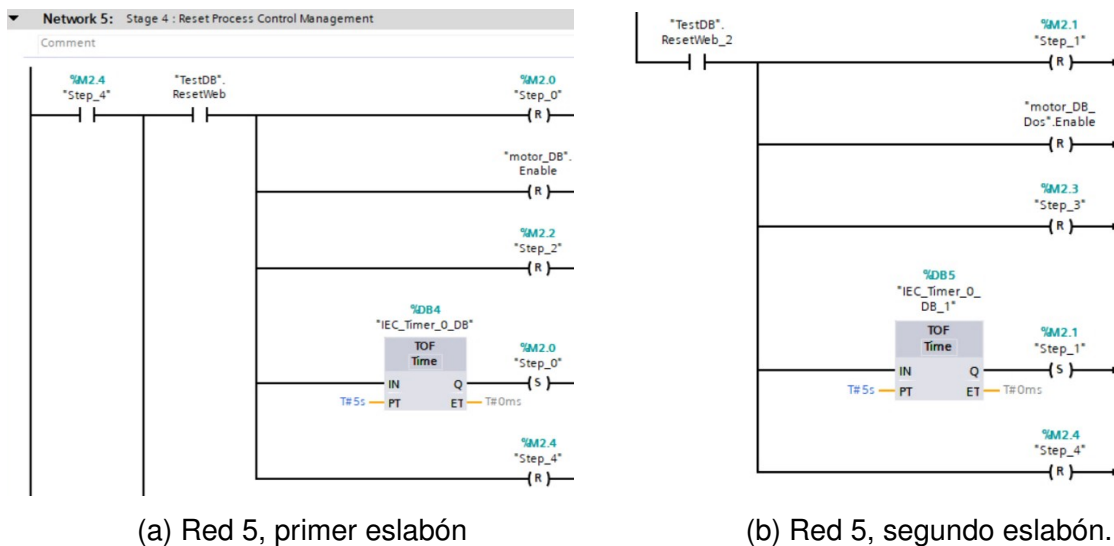


Figura 32: Red 5, botón *Reset* para reiniciar el proceso.

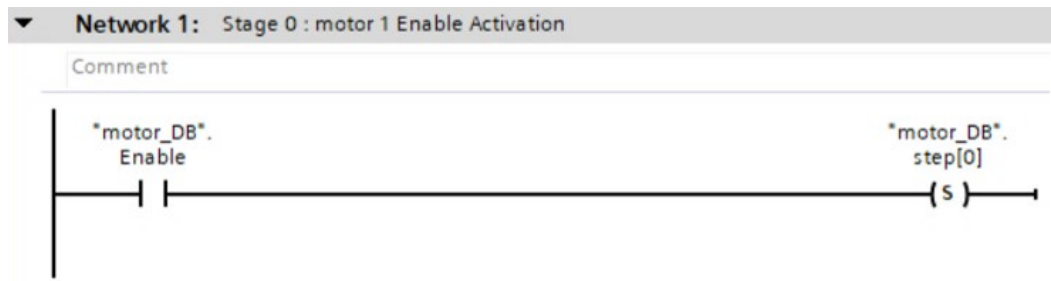


Figura 33: Red 1, *Bloque de funciones* del motor, habilitador

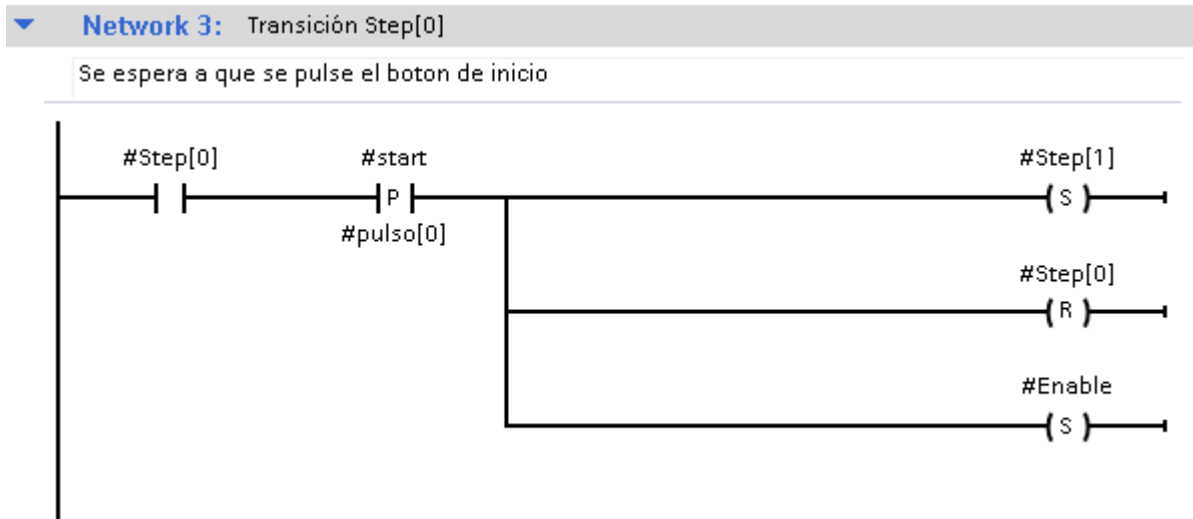


Figura 34: Red 3 Transición del paso cero, la cual indica que si el botón de inicio esta activado todos los botones se habilitan para el accionamiento del motor.

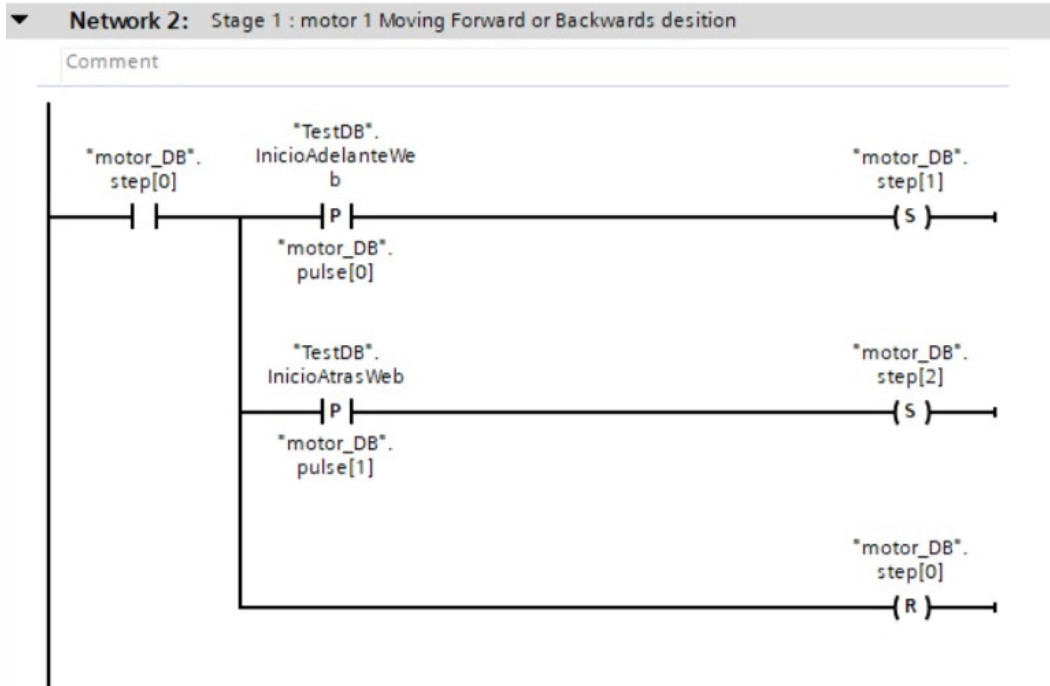


Figura 35: Red 2, Acción paso uno, con dos botones se acciona el motor para adelante o para atrás.

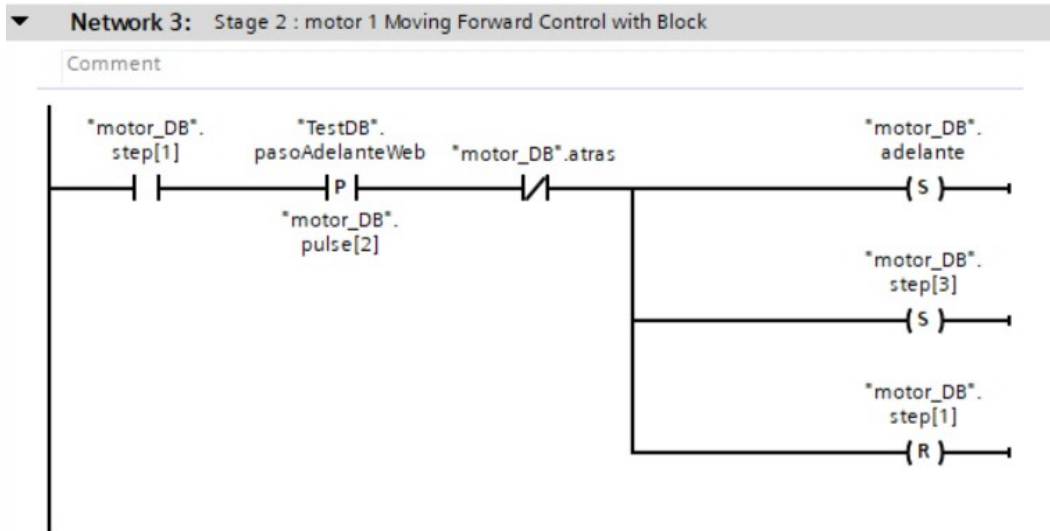


Figura 36: Red 3, accionamiento del giro en sentido horario del motor, con bloqueo.

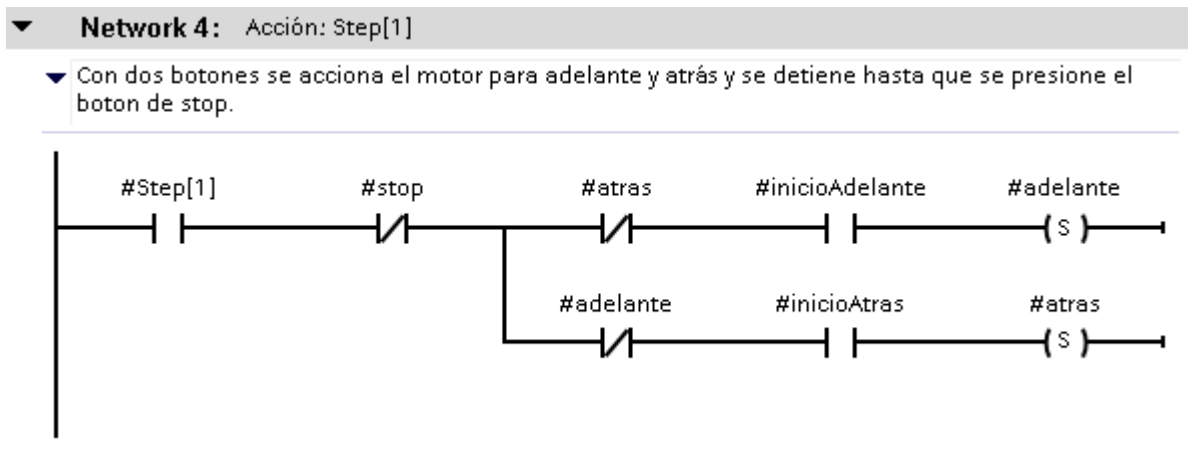


Figura 37: Red 4 Acción paso uno, con dos botones se acciona el motor para adelante o para atrás.

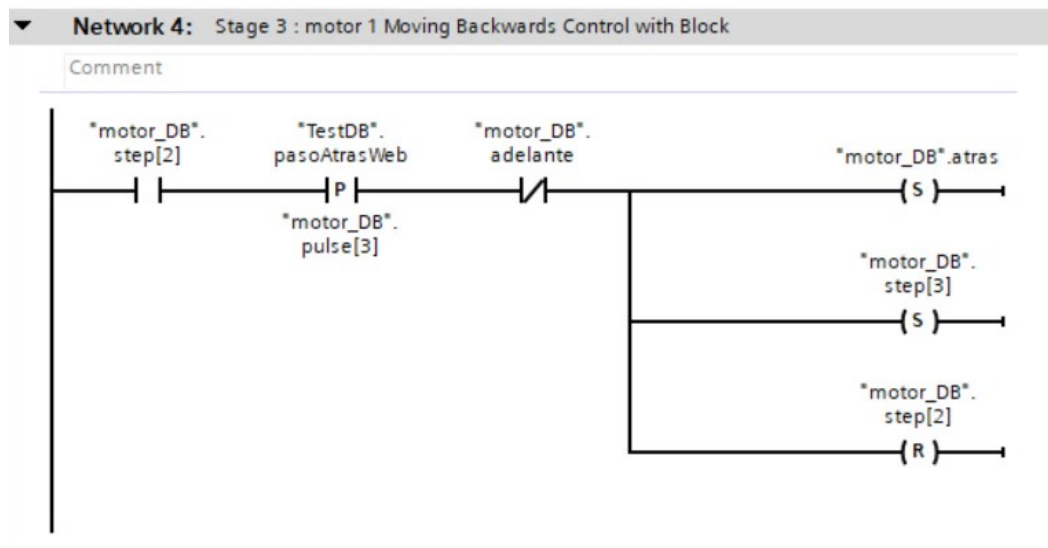


Figura 38: Red 4, accionamiento del giro en sentido anti-horario del motor, con bloqueo.

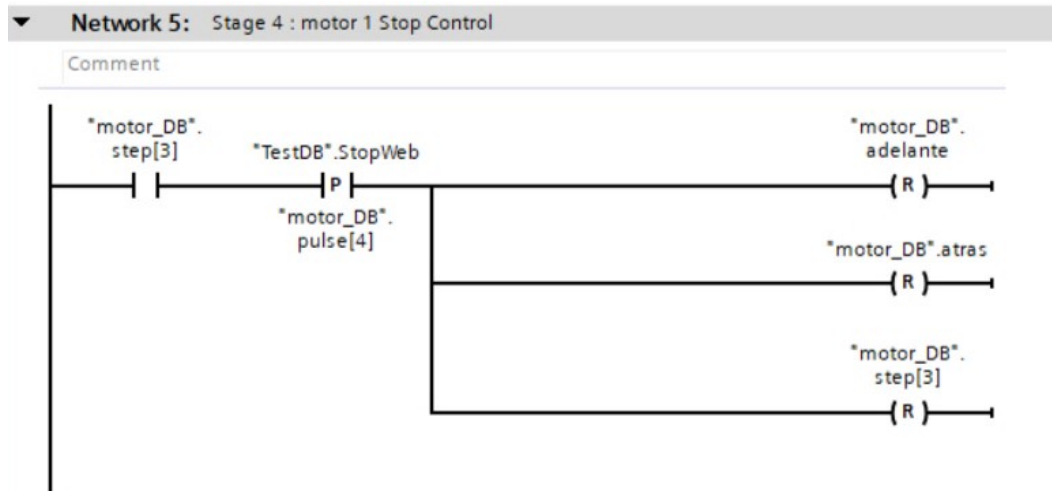


Figura 39: Red 5, Transición paso uno, con esta red se define un botón de paro total o mejor conocido como paro de emergencia.

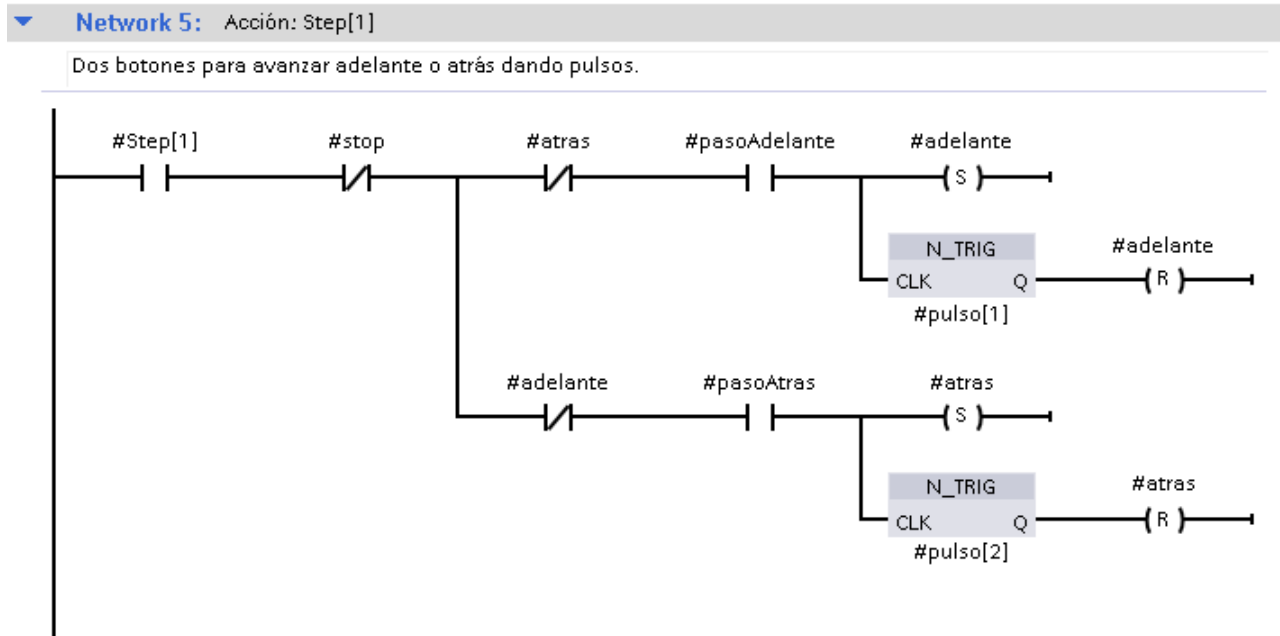


Figura 40: Red 5 Acción uno, con dos botones se puede activar el motor con pulsos.

▼ **Network 6:** Transición: Step[1]

El boton de stop deshabilita al motor y se puede volver a iniciar.

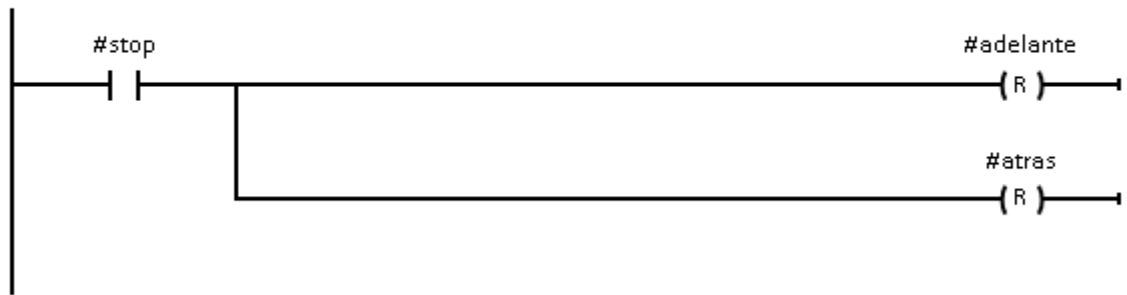


Figura 41: Red 6 Transición paso uno, con esta red se define un botón de paro total o mejor conocido como paro de emergencia.

IX. DISCUSIÓN

788

789 Para poder identificar si los elementos son los adecuados. Primero se tie-
790 ne el motor que se encargará de mover la banda transportadora en la cual todas
791 las botellas de PET a clasificar se encontrarán a la espera de ingresar a la sección
792 de clasificación, el motor puede ser monofásico puesto que no se requiere de una
793 potencia grande dado que el peso de una botella de 1 litro de agua es de aproxima-
794 damente 8,7g aunque hay botellas que pesan entre 7,0g y 6,5g. Con esto y teniendo
795 en cuenta que la clasificación en la sección de sensores de realizara de botella en
796 botella entonces el peso en la banda transportadora no pasaría de 5kg, por ende,
797 no es necesario recurrir a un motor muy potente ni a una tensión alta en la banda
798 para poder desplazar el contenido.

799 Por otro lado, suponiendo de que las botellas caerán a través de un embudo
800 a la banda transportadora entonces se debe considerar por mera seguridad que
801 estás salgan eyectadas hacia los laterales, siendo este el caso se deben colocar
802 paredes de un metal que sea ligero pero lo suficientemente resistente para que no
803 se deforme debido a los impactos y permita que las botellas se mantengan dentro
804 de la banda transportadora en todo momento. Para ello se podría usar aluminio
805 como material principal dado que es un metal que si bien no se vende puro sino
806 en aleación con algún otro metal sigue siendo barato y ligero en comparación con
807 otros metales como el acero, de esta manera el costo no se elevaría demasiado y
808 se sigue manteniendo el factor de seguridad.

809 La segunda sección de la banda transportadora sería la sección de identi-
810 ficación la cual se puede realizar mediante sensores o cámaras o una combinación
811 de ambos dispositivos, en cualquiera de los casos el sistema empleado debe ser ca-
812 paz de clasificar las botellas de manera rápida con el fin de tener una tasa mínima
813 de tres botellas por minuto.

814 Después de la sección de identificación sigue la sección de clasificación en
815 la cual las botellas serán removidas de la banda transportadora y pasarán a contene-
816 dores en función de sus características previamente identificadas. Esta clasificación
817 puede realizarse mediante pistones neumáticos que se accionen mediante sus res-
818 pectivas electroválvulas, las cuales son fáciles de controlar puesto que únicamente
819 se activarían si las características de la botella identificadas en la sección previa
820 cumplen con lo estipulado. Para esta última parte se debe considerar que se re-
821 quiere de un suministro constante de aire comprimido para los pistones neumáticos,
822 está presión debe ser de al menos $0.08MPa$, a menos que se requiera un control

823 más estricto sobre el accionamiento se pueden utilizar pistones de simple efecto con
824 retorno de muelle, de lo contrario se debe optar por pistones de doble efecto para
825 controlar tanto el accionamiento como el regreso mediante un electroválvula de ⁵
826 monoestable.

827 . **Trabajos futuros**

828 . **Análisis de componentes principales para la identificación de los elementos**

829 PCA analiza los elementos principales de múltiples características, expo-
830 niendo su naturaleza y resaltando sus principales características, acortando las di-
831 mensiones de los datos. Para este trabajo se considero trabajar con PCA pero por
832 falta de presupuesto se considera para trabajos futuros. El método de PCA se utilizaría
833 para explicar la cantidad máxima de varianza con el menor número de componen-
834 tes. El análisis de componentes principales se utilizo para describir la variación en
835 los conjuntos de variables correlacionadas reduciendo la complejidad ayudando a
836 la interpretación de los datos y la reducción del ruido o variables que se tienen que
837 monitorear.

838 . **Diseño de experimentos con la interacción de todos los factores a controlar**

839 El diseño de experimentos que se propone consistió en determinar la dis-
840 tancia y rango de trabajo del sistema. Véase la Tabla 10.

Tabla 10: Planteamiento del diseño de experimentos para determinar el rango de trabajo del sistema de identificación.

Tamaño de Botella mL (B)	Distancia cm (A)			Suma
	A1	A2	A3	
200	y_{ij}	y_{ij}	y_{ij}	$Suma_j$
	y_{ij}	y_{ij}	y_{ij}	
Suma	$Suma_{ij}$	$Suma_{ij}$	$Suma_{ij}$	
300	y_{ij}	y_{ij}	y_{ij}	$Suma_j$
	y_{ij}	y_{ij}	y_{ij}	
Suma	$Suma_{ij}$	$Suma_{ij}$	$Suma_{ij}$	
355	y_{ij}	y_{ij}	y_{ij}	$Suma_j$
	y_{ij}	y_{ij}	y_{ij}	
Suma	$Suma_{ij}$	$Suma_{ij}$	$Suma_{ij}$	
500	y_{ij}	y_{ij}	y_{ij}	$Suma_j$
	y_{ij}	y_{ij}	y_{ij}	
Suma	$Suma_{ij}$	$Suma_{ij}$	$Suma_{ij}$	
600	y_{ij}	y_{ij}	y_{ij}	$Suma_j$
	y_{ij}	y_{ij}	y_{ij}	
Suma	$Suma_{ij}$	$Suma_{ij}$	$Suma_{ij}$	
1000	y_{ij}	y_{ij}	y_{ij}	$Suma_j$
	y_{ij}	y_{ij}	y_{ij}	
Suma	$Suma_{ij}$	$Suma_{ij}$	$Suma_{ij}$	
1350	y_{ij}	y_{ij}	y_{ij}	$Suma_j$
	y_{ij}	y_{ij}	y_{ij}	
Suma	$Suma_{ij}$	$Suma_{ij}$	$Suma_{ij}$	
2000	y_{ij}	y_{ij}	y_{ij}	$Suma_j$
	y_{ij}	y_{ij}	y_{ij}	
Suma	$Suma_{ij}$	$Suma_{ij}$	$Suma_{ij}$	
3000	y_{ij}	y_{ij}	y_{ij}	$Suma_j$
	y_{ij}	y_{ij}	y_{ij}	
Suma	$Suma_{ij}$	$Suma_{ij}$	$Suma_{ij}$	
Suma Total	$SumaT_i$	$SumaT_i$	$SumaT_i$	$SumaT$

841 La posición del sistema se estableció de forma vertical en dirección de la
842 banda transportadora. Con la experimentación sería posible determinar la distancia
843 significativa para el encontrar el óptimo rango de trabajo del sistema de identifica-
844 ción. En la Tabla 11 se resume la tabla que almacenaría los resultados de las fuentes
845 de variación de la elaboración del ANOVA de dos factores.

Tabla 11: Resumen del primer ANOVA de dos factores

Fuente	SS	gl	MS	F
Distancia (A)	SSA	a-1	$MSA = SSA/(a-1)$	MSA / MSE
Botella (B)	SSB	b-1	$MSB = SSB/(b-1)$	MSB / MSE
AB	SSAB	a-1	$MSAB = SSAB/(a-1)$	$MSAB / MSE$
Error	SSE	N-a-b-1	$MSE = SSE/(N-a-b-1)$	
Total	SST	N-1		

846

X. CONCLUSIONES

847

848

849

850

851

852

853

854

855

856

857

858

859

860

861

862

863

864

865

866

867

868

869

870

Se optó por utilizar un amplificador de transimpedancia porque los valores de corriente que se pueden obtener del fotodiodo de prueba BPW21R y posiblemente del diodo de InGaAs, son del orden de los nanoamperios y microamperios. Se podría optar por utilizar un amplificador operacional en configuración de seguidor de voltaje teniendo una resistencia conocida, sin embargo, el problema es el mismo, al tratarse de una corriente muy pequeña y utilizar una resistencia muy grande únicamente en la entrada del OPAMP, se tienen problemas de impedancia que resultan en un mal funcionamiento del circuito debido a oscilaciones que resultan de las propias características del OPAMP. Estas oscilaciones también se dan en el amplificador de transimpedancia, pero son más sencillas de controlar mediante la adición de capacitores tanto en la realimentación del OPAMP, como en las propias terminales de alimentación o en paralelo con el fotodiodo.

Aunado a lo previamente mencionado, el uso de un amplificador de transimpedancia simplificó la tarea de capturar la señal proveniente del fotodiodo y, en consecuencia, la selección de los componentes que operan en conjunto con el amplificador de transimpedancia, se volvió relativamente sencilla dado que, al tener ya un tipo y comportamiento de señal definidos, fue cuestión de analizar ventajas y desventajas de los componentes mediante el método empírico, ejecución de simulaciones y el método conocido como ensayo y error.

Todo lo anteriormente mencionado, en conjunto con la experiencia adquirida en una empresa del sector automotriz, permitieron definir en cierta medida la metodología que fue empleada en este trabajo, la cual consistió en el diseño, la implementación y la ejecución y que fue plenamente empleada para el desarrollo del sistema de acondicionamiento de señal.

XI. REFERENCIAS

871

872

873 [Altium, 2019] Altium (2019). Pcb trace width.
874 <https://resources.altium.com/es/p/pcb-trace-width-vs-current-table-high-voltage->
875 [design.](https://resources.altium.com/es/p/pcb-trace-width-vs-current-table-high-voltage-design)

876 [Ángeles-Hurtado et al., 2021] Ángeles-Hurtado, L., Rodríguez-Reséndiz, J., and
877 Salazar-Colores, S. (2021). Viable disposal of post-consumer polymers in me-
878 xico: A review. *Frontiers in Environmental Science*, 9:427.

879 [Areny, 2005] Areny, R. P. (2005). *Sensores y Acondicionadores de Señal 4a*. Mar-
880 combo.

881 [Beuchot, 1999] Beuchot, M. (1999). *Heurística y hermenéutica*, volume 1. UNAM.

882 [Breyer, 2011] Breyer, G. (2011). *Heurística del diseño*. Nobuko.

883 [Bruno, 2000] Bruno, E. A. (2000). Automated sorting of plastics for recycling. In
884 *Automated Sorting of Plastics for Recycling*, pages 3–16. in Press.

885 [Crisci, 1983] Crisci, Jorge Víctor Armengol, M. F. L. (1983). Introducción a la teoría
886 y práctica de la taxonomía numérica. Technical report, OEA Washington eD.
887 CDC.

888 [De Groot et al., 1999] De Groot, P., Postma, G., Melssen, W., and Buydens, L.
889 (1999). Selecting a representative training set for the classification of demolition
890 waste using remote nir sensing. *Analytica chimica acta*, 392(1):67–75.

891 [Del Brío, 1999] Del Brío, Bonifacio Martín de Tecnología Electrónica, A. (1999). *Sis-*
892 *temas electrónicos basados en microprocesadores y microcontroladores*. Pren-
893 sas Universitarias de Zaragoza.

894 [Duda and Hart, 1972] Duda, R. and Hart, P. (1972). Use of the hough transforma-
895 tion to detect lines and curves in pictures. *Communications of the ACM*, 15(1):11–
896 15. cited By 4171.

897 [Flores, 2012] Flores, D. H. D. (2012). El problema logístico de la recolección de pet
898 en México. *UPIICSA*.

- 899 [Foundation, 2015] Foundation, Cooperation Lee, S. K. H. (2015). Patent no.; us
900 7,616,733 b2. In *Patent*. United States Patent.
- 901 [Garran et al., 2008] Garran, D., Vidal, R., Franco, V., and Martnez, P. (2008). Anlisis
902 del ciclo de vida del reciclado del polietileno de alta densidad. *Residuos*, 104:58–
903 63.
- 904 [Grigore, 2017] Grigore, M. E. (2017). Methods of recycling, properties and applica-
905 tions of recycled thermoplastic polymers. *Recycling*, 2(4). Cited By :65.
- 906 [Gutiérrez-Pulido, 2004] Gutiérrez-Pulido, Humberto Vara Salazar, R. d. I. (2004).
907 *Análisis y diseño de experimentos*. McGraw Hill.
- 908 [Johansen, 1975] Johansen, O. (1975). *Introducción a la teoría general de sistemas*.
909 Univ. de Chile, Dpto. de Administración.
- 910 [Josefa, 2019] Josefa, Gonzlez Blanco Ortiz Mena Sergio, S. M. (2019). Visin na-
911 cional hacia una gestin sustentable (cero residuos). In *Gobierno de Mxico*, pages
912 1–27. Gobierno de Mxico.
- 913 [Kang Hai-Yong, 2005] Kang Hai-Yong, Schoenung, J. M. (2005). Electronic waste
914 recycling: A review of us infrastructure and technology options. *Resources, Con-
915 servation and Recycling*, 45(4):368–400.
- 916 [KK, 2015] KK, H. P. (2015). Ingaas photodiodes.
917 <https://www.hamamatsu.com/us/en/resources/selection-guides.html>.
- 918 [Malvino, 1991] Malvino, Albert Paul Bates, D. J. (1991). *Principios de electrónica*,
919 volume 2. McGraw-Hill.
- 920 [Masoumi, 2012] Masoumi, Hamed Safavi, S. K. (2012). Identification and classi-
921 fication of plastic resins using near infrared reflectance. *International Journal of
922 Mechanical and Industrial Engineering*, 6:213–220.
- 923 [Milgrom, 1994] Milgrom, J. (1994). Trends in plastics recycling. In *Trends in plastics
924 recycling*. Technomic Publishing Company, Lancaster, Pennsylvania.
- 925 [Morillas et al., 2014] Morillas, A. V., Valdemar, R. M. E., Villavicencio, M. B., and
926 Pérez, M. V. (2014). El reciclaje de los plásticos.
- 927 [Noble, 2006] Noble, W. S. (2006). What is a support vector machine? *Nature bio-
928 technology*, 24(12):1565–1567.

- 929 [Olmedo-Méndez, 2017] Olmedo-Méndez, J. S. (2017). La gestión de proyectos
930 en una empresa manufacturera del sector automotriz mediante las herramientas
931 apqp y core tools. *repositorio ibero puebla*.
- 932 [OxfordLanguages, 2021] OxfordLanguages (2021). Oxford languages and google
933 - spanish — oxford languages. *Oxford University Press*.
- 934 [Pallas-Areny, 2012] Pallas-Areny, Ramon Webster, J. G. (2012). *Sensors and signal*
935 *conditioning*. John Wiley & Sons.
- 936 [Peláez Lenis et al., 2018] Peláez Lenis, L. C., Olmos Rodríguez, M. C., et al.
937 (2018). Plan de empresa para la creación de recoplast, empresa dedicada a
938 la recuperación de plásticos reciclables. B.S. thesis, Universidad Autónoma de
939 Occidente.
- 940 [Prasad, 2012] Prasad, Vinu D, K. (2012). Image processing techniques to recog-
941 nize and classify bottle articles. *National Conference on Advances in Compu-*
942 *ter Science and Applications with International Journal of Computer Applications*,
943 75:1–5.
- 944 [Quillet Arístides, 1974a] Quillet Arístides, Q. D. E. (1974a). Tomo 6. *Editorial Ar-*
945 *gentina Aristides Quillet, México*.
- 946 [Quillet Arístides, 1974b] Quillet Arístides, Q. D. E. (1974b). Tomo 8. *Editorial Ar-*
947 *gentina Aristides Quillet, México*.
- 948 [RAE, 2020] RAE (2020). Real academia espaola: Diccionario de la lengua espaola,
949 consulta [23/09/2020]. <https://dle.rae.es>.
- 950 [RAE, 2021] RAE (2021). Real academia espaola: Diccionario de la lengua espaola,
951 consulta [23/09/2020]. <https://dle.rae.es>.
- 952 [Ramli et al., 2008] Ramli, S., Mustafa, M. M., Hussain, A., and Wahab, D. A. (2008).
953 Histogram of intensity feature extraction for automatic plastic bottle recycling sys-
954 tem using machine vision. *American Journal of Environmental Sciences*, 4(6):583.
- 955 [Rani et al., 2019] Rani, M., Marchesi, C., Federici, S., Rovelli, G., Alessandri, I.,
956 Vassalini, I., Ducoli, S., Borgese, L., Zacco, A., Bilo, F., Bontempi, E., and Depe-
957 ro, L. (2019). Miniaturized near-infrared (micronir) spectrometer in plastic waste
958 sorting. *Materials*, 12(7). cited By 1.

- 959 [Rotheiser, 2009] Rotheiser, J. (2009). *Joining of Plastics Handbook for Designers*
960 *and Engineers*. Hanser Publishers, Munich. Hanser Publishers, Cincinnati, 3rd
961 edition.
- 962 [Sahin O., 2018] Sahin O., Kirim, Y. (2018). *Material Recycling*, volume 2-5 of *Com-*
963 *prehensive Energy Systems*, pages 1018–1042. scopus. Cited By :2.
- 964 [Scott, 1995] Scott, D. (1995). A two-colour near-infrared sensor for sorting recycled
965 plastic waste. *Measurement Science and Technology*, 6(2):156–159. cited By 49.
- 966 [Serranti et al., 2013] Serranti, S., Cesare, D., Marini, F., and Bonifazi, G. (2013).
967 Classification of oat and groat kernels using nir hyperspectral imaging. *Talanta*,
968 103:276–284.
- 969 [Solé, 2012] Solé, A. C. (2012). *Neumática e hidráulica*. Marcombo.
- 970 [ST, 2023] ST (2023). Stnucleo. [https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-](https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleof446re.html)
971 [f446re.html](https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleof446re.html).
- 972 [Terasic, 2023] Terasic (2023). Terasic fpga boards. [https://www.terasic.com.tw/cgi-](https://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive.pl?Language=English&No=1021)
973 [bin/page/archive.pl?Language=English&No=1021](https://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive.pl?Language=English&No=1021).
- 974 [the Environment et al., 2008] the Environment, EPIC, P. I. C., and CSR, C. S. R.
975 (2008). A review of optical technology to sort plastics & other containers. In *A*
976 *Review of Optical Technology to Sort Plastics & Other Containers*, pages 1–11.
977 Canadian Plastics Industry Association.
- 978 [Vishay, 2006] Vishay (2006). Bpw21r vishay semiconductors silicon pn photodiode.
979 Technical report, Vishay.
- 980 [Vishay, 2008] Vishay (2008). Symbology and terminology. Technical report,
981 Vishay.
- 982 [Wu et al., 2020] Wu, X., Li, J., Yao, L., and Xu, Z. (2020). Auto-sorting commonly
983 recovered plastics from waste household appliances and electronics using near-
984 infrared spectroscopy. *Journal of Cleaner Production*, 246:118732.
- 985 [Yi Tan, 2005] Yi Tan, G. (2005). The application of machine learning algorithm in
986 underwriting process. In *2005 International Conference on Machine Learning and*
987 *Cybernetics*, volume 6, pages 3523–3527 Vol. 6.

A. APÉNDICE

988

```
989 <!DOCTYPE html> 1
990 <html lang="en"> 2
991 <head> 3
992     <meta charset="UTF-8"> 4
993     <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge"> 5
994     <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0" 6
995     > 7
996 8
997     <link href="public/css/styles.css" rel="stylesheet" type="text/css"> 8
998     <script src="public/js/index.js"></script> 9
999     <script src="public/js/motorDos.js"></script> 10
1000     <!-- <script type="text/javascript" src="script/jquery-2.1.3.min.js"> 11
1001     </script> -->
1002     <!-- <script type="text/javascript" src="script/S7_framework_0.1.7.js 12
1003     "></script> -->
1004 13
1005     <title>ConveyorBelt</title> 14
1006 </head> 15
1007 <body> 16
1008 17
1009     <!-- Declaracin de variables del PLC --> 18
1010     <!-- AWP_In_Variable Name=' "TestDB".ResetWeb' --> 19
1011     <!-- AWP_In_Variable Name=' "TestDB".StartWeb' --> 20
1012     <!-- AWP_In_Variable Name=' "TestDB".InicioAdelanteWeb' --> 21
1013     <!-- AWP_In_Variable Name=' "TestDB".StopWeb' --> 22
1014     <!-- AWP_In_Variable Name=' "TestDB".InicioAtrasWeb' --> 23
1015     <!-- AWP_In_Variable Name=' "TestDB".pasoAdelanteWeb' --> 24
1016     <!-- AWP_In_Variable Name=' "TestDB".pasoAtrasWeb' --> 25
1017 26
1018     <div class="centerDiv"> 27
1019         <div> 28
1020             <h1 class="">Pruebas con la banda trasportadora y el sistema 29
1021             de identificacin,
1022                 controlado por un PLC Siemens y una p gina web.</h1> 30
1023         </div> 31
1024     </div> 32
1025 33
1026     <div class="centerDiv"> 34
1027         <div> 35
1028             <table> 36
1029                 <tr> 37
1030                     <th colspan="5" style="text-align: center">Motor 1</ 38
```

```

1031     th>
1032         </tr>
1033     <tr>
1034         <th>Tipo</th>
1035         <th>Nombre</th>
1036         <th>Valor actual</th>
1037         <th>Nuevo valor</th>
1038         <th>Bot n</th>
1039     </tr>
1040     <tr>
1041         <th colspan="5" style="text-align: left">Variables
1042 del Motor 1</th>
1043     </tr>
1044     <!-- ResetWeb -->
1045     <tr>
1046         <td>BOOL</td>
1047         <td>"TestDB".ResetWeb</td>
1048         <td><input type="text" id="valueResetWeb" value=":"
1049 TestDB".ResetWeb:></td>
1050         <form>
1051             <td>
1052                 <input type="number" name=' "TestDB".ResetWeb'
1053 min="0" max="1" value="1">
1054             </td>
1055             <td>
1056                 <input type="submit" value="Enviar">
1057             </td>
1058         </form>
1059         <form id="resetForm">
1060             <input type="hidden" name=' "TestDB".ResetWeb'
1061 value="0">
1062         </form>
1063     </tr>
1064     <!-- StartWeb -->
1065     <tr>
1066         <td>BOOL</td>
1067         <td>"TestDB".StartWeb</td>
1068         <td><input type="text" id="valueStartWeb" value=":"
1069 TestDB".StartWeb:></td>
1070         <form>
1071             <td>
1072                 <input type="number" name=' "TestDB".StartWeb'
1073 min="0" max="1" value="1">
1074             </td>

```

```

1075         <td>
1076             <input type="submit" value="Enviar">
1077         </td>
1078     </form>
1079     <form id="resetFormStartWeb">
1080         <input type="hidden" name=' "TestDB".StartWeb'
1081 value="0">
1082     </form>
1083 </tr>
1084 <!-- InicioAdelanteWeb -->
1085 <tr>
1086     <td>BOOL</td>
1087     <td>"TestDB".InicioAdelanteWeb</td>
1088     <td><input type="text" id="valueInicioAdelanteWeb"
1089 value::="TestDB".InicioAdelanteWeb:></td>
1090     <form>
1091     <td>
1092         <input type="number" name=' "TestDB".
1093 InicioAdelanteWeb' min="0" max="1" value="1">
1094     </td>
1095     <td>
1096         <input type="submit" value="Enviar">
1097     </td>
1098     </form>
1099     <form id="resetFormInicioAdelanteWeb">
1100         <input type="hidden" name=' "TestDB".
1101 InicioAdelanteWeb' value="0">
1102     </form>
1103 </tr>
1104 <!-- StopWeb -->
1105 <tr>
1106     <td>BOOL</td>
1107     <td>"TestDB".StopWeb</td>
1108     <td><input type="text" id="valueStopWeb" value::="
1109 TestDB".StopWeb:></td>
1110     <form>
1111     <td>
1112         <input type="number" name=' "TestDB".StopWeb'
1113 min="0" max="1" value="1">
1114     </td>
1115     <td>
1116         <input type="submit" value="Enviar">
1117     </td>
1118     </form>

```

```

1119         <form id="resetFormStopWeb">
1120             <input type="hidden" name=' "TestDB".StopWeb'
1121 value="0">
1122         </form>
1123     </tr>
1124     <!-- InicioAtrasWeb -->
1125     <tr>
1126         <td>BOOL</td>
1127         <td>"TestDB".InicioAtrasWeb</td>
1128         <td><input type="text" id="valueInicioAtrasWeb" value
1129 =:"TestDB".InicioAtrasWeb:></td>
1130         <form>
1131             <td>
1132                 <input type="number" name=' "TestDB".
1133 InicioAtrasWeb' min="0" max="1" value="1">
1134             </td>
1135             <td>
1136                 <input type="submit" value="Enviar">
1137             </td>
1138         </form>
1139         <form id="resetFormInicioAtrasWeb">
1140             <input type="hidden" name=' "TestDB".
1141 InicioAtrasWeb' value="0">
1142         </form>
1143     </tr>
1144     <!-- pasoAdelanteWeb -->
1145     <tr>
1146         <td>BOOL</td>
1147         <td>"TestDB".pasoAdelanteWeb</td>
1148         <td><input type="text" value=:"TestDB".
1149 pasoAdelanteWeb:></td>
1150         <form id="formPasoAdelanteWeb">
1151             <td>
1152                 <input type="number" name=' "TestDB".
1153 pasoAdelanteWeb' min="0" max="1" value="1">
1154             </td>
1155             <td>
1156                 <input type="submit" id="
1157 submitPasoAdelanteWeb" value="Enviar">
1158             </td>
1159         </form>
1160         <form id="resetFormpasoAdelanteWeb">
1161             <input type="hidden" name=' "TestDB".
1162 pasoAdelanteWeb' value="0">

```

```

1163         </form>
1164     </tr>
1165     <!-- pasoAtrasWeb -->
1166     <tr>
1167         <td>BOOL</td>
1168         <td>"TestDB".pasoAtrasWeb</td>
1169         <td><input type="text" value::="TestDB".pasoAtrasWeb:
1170 ></td>
1171         <form id="formPasoAtrasWeb">
1172             <td>
1173                 <input type="number" name=' "TestDB".
1174 pasoAtrasWeb' min="0" max="1" value="1">
1175             </td>
1176             <td>
1177                 <input type="submit" id="submitpasoAtrasWeb"
1178 value="Enviar">
1179             </td>
1180         </form>
1181         <form id="resetFormpasoAtrasWeb">
1182             <input type="hidden" name=' "TestDB".pasoAtrasWeb'
1183 value="0">
1184         </form>
1185     </tr>
1186 </table>
1187 </div>
1188
1189 <!-- Motor 2 -->
1190 <!-- Declaracin de variables del PLC -->
1191
1192 <!-- AWP_In_Variable Name=' "TestDB".ResetWeb_2' -->
1193 <!-- AWP_In_Variable Name=' "TestDB".StartWeb_2' -->
1194 <!-- AWP_In_Variable Name=' "TestDB".InicioAdelanteWeb_2' -->
1195 <!-- AWP_In_Variable Name=' "TestDB".StopWeb_2' -->
1196 <!-- AWP_In_Variable Name=' "TestDB".InicioAtrasWeb_2' -->
1197 <!-- AWP_In_Variable Name=' "TestDB".pasoAdelanteWeb_2' -->
1198 <!-- AWP_In_Variable Name=' "TestDB".pasoAtrasWeb_2' -->
1199     <div>
1200         <table>
1201             <tr>
1202                 <th colspan="5" style="text-align: center">Motor 2</
1203 th>
1204             </tr>
1205             <tr>
1206                 <th>Tipo</th>

```



```

1207         <th>Nombre</th> 189
1208         <th>Valor ActualCurrent Value</th> 190
1209         <th>Nuevo Valor</th> 191
1210         <th>Bot n</th> 192
1211     </tr> 193
1212     <tr> 194
1213         <th colspan="5" style="text-align: left">Variables 195
1214 del Motor 2</th>
1215     </tr> 196
1216     <!-- ResetWeb_2 --> 197
1217     <tr> 198
1218         <td>BOOL</td> 199
1219         <td>"TestDB".ResetWeb_2</td> 200
1220         <td><input type="text" id="valueResetWeb_2" value=":" 201
1221 TestDB".ResetWeb_2:></td>
1222         <form> 202
1223             <td> 203
1224                 <input type="number" name=' "TestDB". 204
1225 ResetWeb_2' min="0" max="1" value="1">
1226             </td> 205
1227             <td> 206
1228                 <input type="submit" value="Enviar"> 207
1229             </td> 208
1230         </form> 209
1231         <form id="resetForm_2"> 210
1232             <input type="hidden" name=' "TestDB".ResetWeb_2' 211
1233 value="0">
1234         </form> 212
1235     </tr> 213
1236     <!-- StartWeb_2 --> 214
1237     <tr> 215
1238         <td>BOOL</td> 216
1239         <td>"TestDB".StartWeb_2</td> 217
1240         <td><input type="text" id="valueStartWeb_2" value=":" 218
1241 TestDB".StartWeb_2:></td>
1242         <form> 219
1243             <td> 220
1244                 <input type="number" name=' "TestDB". 221
1245 StartWeb_2' min="0" max="1" value="1">
1246             </td> 222
1247             <td> 223
1248                 <input type="submit" value="Enviar"> 224
1249             </td> 225
1250         </form> 226

```

```

1251         <form id="resetFormStartWeb_2">
1252             <input type="hidden" name=' "TestDB".StartWeb_2'
1253 value="0">
1254         </form>
1255     </tr>
1256     <!-- InicioAdelanteWeb_2 -->
1257     <tr>
1258         <td>BOOL</td>
1259         <td>"TestDB".InicioAdelanteWeb_2</td>
1260         <td><input type="text" id="valueInicioAdelanteWeb_2"
1261 value:=:"TestDB".InicioAdelanteWeb_2:></td>
1262         <form>
1263             <td>
1264                 <input type="number" name=' "TestDB".
1265 InicioAdelanteWeb_2' min="0" max="1" value="1">
1266             </td>
1267             <td>
1268                 <input type="submit" value="Enviar">
1269             </td>
1270         </form>
1271         <form id="resetFormInicioAdelanteWeb_2">
1272             <input type="hidden" name=' "TestDB".
1273 InicioAdelanteWeb_2' value="0">
1274         </form>
1275     </tr>
1276     <!-- StopWeb_2 -->
1277     <tr>
1278         <td>BOOL</td>
1279         <td>"TestDB".StopWeb_2</td>
1280         <td><input type="text" id="valueStopWeb_2" value:=:"
1281 TestDB".StopWeb_2:></td>
1282         <form>
1283             <td>
1284                 <input type="number" name=' "TestDB".StopWeb_2
1285 ' min="0" max="1" value="1">
1286             </td>
1287             <td>
1288                 <input type="submit" value="Enviar">
1289             </td>
1290         </form>
1291         <form id="resetFormStopWeb_2">
1292             <input type="hidden" name=' "TestDB".StopWeb_2'
1293 value="0">
1294         </form>

```

```

1295         </tr>
1296         <!-- InicioAtrasWeb_2 -->
1297         <tr>
1298             <td>BOOL</td>
1299             <td>"TestDB".InicioAtrasWeb_2</td>
1300             <td><input type="text" id="valueInicioAtrasWeb_2"
1301 value::="TestDB".InicioAtrasWeb_2:></td>
1302             <form>
1303                 <td>
1304                     <input type="number" name=' "TestDB".
1305 InicioAtrasWeb_2' min="0" max="1" value="1">
1306                 </td>
1307                 <td>
1308                     <input type="submit" value="Enviar">
1309                 </td>
1310             </form>
1311             <form id="resetFormInicioAtrasWeb_2">
1312                 <input type="hidden" name=' "TestDB".
1313 InicioAtrasWeb_2' value="0">
1314             </form>
1315         </tr>
1316         <!-- pasoAdelanteWeb_2 -->
1317         <tr>
1318             <td>BOOL</td>
1319             <td>"TestDB".pasoAdelanteWeb_2</td>
1320             <td><input type="text" value::="TestDB".
1321 pasoAdelanteWeb_2:></td>
1322             <form id="formPasoAdelanteWeb_2">
1323                 <td>
1324                     <input type="number" name=' "TestDB".
1325 pasoAdelanteWeb_2' min="0" max="1" value="1">
1326                 </td>
1327                 <td>
1328                     <input type="submit" id="
1329 submitPasoAdelanteWeb_2" value="Enviar">
1330                 </td>
1331             </form>
1332             <form id="resetFormpasoAdelanteWeb_2">
1333                 <input type="hidden" name=' "TestDB".
1334 pasoAdelanteWeb_2' value="0">
1335             </form>
1336         </tr>
1337         <!-- pasoAtrasWeb_2 -->
1338         <tr>

```

```

1339         <td>BOOL</td> 301
1340         <td>"TestDB".pasoAtrasWeb_2</td> 302
1341         <td><input type="text" value::="TestDB". 303
1342 pasoAtrasWeb_2:></td>
1343         <form id="formPasoAtrasWeb_2"> 304
1344             <td> 305
1345                 <input type="number" name=' "TestDB". 306
1346 pasoAtrasWeb_2' min="0" max="1" value="1">
1347             </td> 307
1348             <td> 308
1349                 <input type="submit" id="submitpasoAtrasWeb_2 309
1350 " value="Enviar">
1351             </td> 310
1352         </form> 311
1353         <form id="resetFormpasoAtrasWeb_2"> 312
1354             <input type="hidden" name=' "TestDB". 313
1355 pasoAtrasWeb_2' value="0">
1356         </form> 314
1357     </tr> 315
1358 </table> 316
1359 </div> 317
1360 </div> 318
1361 </body> 319
1362 </html> 320

```

1363

Listing 1: Código que se utilizó en HTML

B. APÉNDICE

1364

```
1365 * { 1
1366     box-sizing: border-box; 2
1367 } 3
1368 4
1369 body { 5
1370     margin: 1%; 6
1371     font-family: 'Roboto', sans-serif; 7
1372 } 8
1373 9
1374 10
1375 .centerDiv { 11
1376     display: flex; 12
1377     border: 20px; 13
1378 } 14
1379 15
1380 div{ 16
1381     margin: 1%; 17
1382     align-self: center; 18
1383 } 19
1384 20
1385 table, th, td { 21
1386     border:1px solid black; 22
1387     font-size: large; 23
1388 24
1389 } 25
```

1390

Listing 2: Código que se utilizó en css

C. APÉNDICE

1391

```
1392 document.addEventListener('DOMContentLoaded', function() { 1
1393 2
1394 // <!-- ResetWeb --> 3
1395 if(document.querySelector('#valueResetWeb').value == '1'){ 4
1396     document.querySelector('#resetForm').submit(); 5
1397 } 6
1398 // <!-- StartWeb --> 7
1399 if(document.querySelector('#valueStartWeb').value == '1'){ 8
1400     document.querySelector('#resetFormStartWeb').submit(); 9
1401 } 10
1402 // <!-- InicioAdelanteWeb --> 11
1403 if(document.querySelector('#valueInicioAdelanteWeb').value == '1'){ 12
1404     document.querySelector('#resetFormInicioAdelanteWeb').submit(); 13
1405 } 14
1406 15
1407 // <!-- StopWeb --> 16
1408 // if(document.querySelector('#valueStopWeb').value == '1'){ 17
1409 //     document.querySelector('#resetFormStopWeb').submit(); 18
1410 // } 19
1411 20
1412 // <!-- InicioAtrasWeb --> 21
1413 if(document.querySelector('#valueInicioAtrasWeb').value == '1'){ 22
1414     document.querySelector('#resetFormInicioAtrasWeb').submit(); 23
1415 } 24
1416 // <!-- pasoAdelanteWeb --> 25
1417 document.querySelector('#submitPasoAdelanteWeb').addEventListener(' 26
1418 mousedown', () => mouseDown()); 27
1419 document.querySelector('#submitPasoAdelanteWeb').addEventListener(' 27
1420 mouseup', () => mouseUp()); 28
1421 28
1422 // <!-- pasoAtrasWeb --> 29
1423 document.querySelector('#submitpasoAtrasWeb').addEventListener(' 30
1424 mousedown', () => mouseDownAtras()); 31
1425 document.querySelector('#submitpasoAtrasWeb').addEventListener(' 31
1426 mouseup', () => mouseUpAtras()); 32
1427 32
1428 }); 33
1429 34
1430 function mouseDown(){ 35
1431     document.querySelector('#formPasoAdelanteWeb').submit(); 36
1432 } 37
1433 38
```

```
1434 function mouseUp(){ 39
1435     document.querySelector('#resetFormpasoAdelanteWeb').submit(); 40
1436 } 41
1437 42
1438 function mouseDownAtras(){ 43
1439     document.querySelector('#formPasoAtrasWeb').submit(); 44
1440 } 45
1441 46
1442 function mouseUpAtras(){ 47
1443     document.querySelector('#resetFormpasoAtrasWeb').submit(); 48
1444 } 49
```

1445 Listing 3: Código que se utilizó en JavaScript para interactuar con el motor uno

D. APÉNDICE

1446

```
1447 document.addEventListener('DOMContentLoaded', function() { 1
1448 2
1449 // <!-- ResetWeb --> 3
1450 if(document.querySelector('#valueResetWeb_2').value == '1'){ 4
1451     document.querySelector('#resetForm_2').submit(); 5
1452 } 6
1453 // <!-- StartWeb --> 7
1454 if(document.querySelector('#valueStartWeb_2').value == '1'){ 8
1455     document.querySelector('#resetFormStartWeb_2').submit(); 9
1456 } 10
1457 // <!-- InicioAdelanteWeb --> 11
1458 if(document.querySelector('#valueInicioAdelanteWeb_2').value == '1'){ 12
1459     document.querySelector('#resetFormInicioAdelanteWeb_2').submit(); 13
1460 } 14
1461 15
1462 // <!-- StopWeb --> 16
1463 // if(document.querySelector('#valueStopWeb').value == '1'){ 17
1464 //     document.querySelector('#resetFormStopWeb').submit(); 18
1465 // } 19
1466 20
1467 // <!-- InicioAtrasWeb --> 21
1468 if(document.querySelector('#valueInicioAtrasWeb_2').value == '1'){ 22
1469     document.querySelector('#resetFormInicioAtrasWeb_2').submit(); 23
1470 } 24
1471 // <!-- pasoAdelanteWeb --> 25
1472 document.querySelector('#submitPasoAdelanteWeb_2').addEventListener(' 26
1473 mousedown', () => mouseDown_2());
1474 document.querySelector('#submitPasoAdelanteWeb_2').addEventListener(' 27
1475 mouseup', () => mouseUp_2());
1476 28
1477 // <!-- pasoAtrasWeb --> 29
1478 document.querySelector('#submitpasoAtrasWeb_2').addEventListener(' 30
1479 mousedown', () => mouseDownAtras_2());
1480 document.querySelector('#submitpasoAtrasWeb_2').addEventListener(' 31
1481 mouseup', () => mouseUpAtras_2());
1482 32
1483 }); 33
1484 34
1485 function mouseDown_2(){ 35
1486     document.querySelector('#formPasoAdelanteWeb_2').submit(); 36
1487 } 37
1488 38
```



```
1489 function mouseUp_2() { 39
1490     document.querySelector('#resetFormpasoAdelanteWeb_2').submit(); 40
1491 } 41
1492 42
1493 function mouseDownAtras_2() { 43
1494     document.querySelector('#formPasoAtrasWeb_2').submit(); 44
1495 } 45
1496 46
1497 function mouseUpAtras_2() { 47
1498     document.querySelector('#resetFormpasoAtrasWeb_2').submit(); 48
1499 } 49
```

1500 Listing 4: Código que se utilizó en JavaScript para interactuar con el motor uno

E. APÉNDICE

1501

```
1502 #include <Wire.h> 1
1503 #include <ThingSpeak.h> 2
1504 #include <WiFi.h> 3
1505 #include <Adafruit_ADS1X15.h> 4
1506 5
1507 Adafruit_ADS1115 ads; /* Use this for the 16-bit version */ 6
1508 7
1509 const char* ssid = "INFINITUM3209_2.4"; 8
1510 const char* password = "jpOi2Kl85q"; 9
1511 10
1512 unsigned long channelID = 2359211; 11
1513 const char* WriteAPIKey = "JURKP28JHR7WQJ9U"; 12
1514 13
1515 float volts0; 14
1516 15
1517 WiFiClient UserClient; 16
1518 17
1519 18
1520 void ADCDataCapture() { 19
1521     int16_t adc0; 20
1522 21
1523     adc0 = ads.readADC_SingleEnded(0); 22
1524 23
1525     volts0 = ads.computeVolts(adc0); 24
1526 25
1527     Serial.println(" 26
1528     -----");
1529     Serial.print("AIN0: "); Serial.print(adc0); Serial.print(" "); Serial. 27
1530     print(volts0); Serial.println("V");
1531 28
1532     delay(250); 29
1533 } 30
1534 31
1535 void WiFiDataSend() { 32
1536     ThingSpeak.setField(1, volts0); 33
1537     ThingSpeak.writeFields(channelID, WriteAPIKey); 34
1538     Serial.println("Data sended."); 35
1539     delay(13750); 36
1540 } 37
1541 38
1542 void setup(void) 39
1543 { 40
```

```

1544 Serial.begin(115200); 41
1545 Serial.println("Hello!"); 42
1546 43
1547 Serial.println("Getting single-ended readings from AIN0..."); 44
1548 Serial.println("ADC Range: +/- 6.144V (1 bit = 3mV/ADS1015, 0.1875mV/ 45
1549 ADS1115)");
1550 ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS); // 2/3x gain +/- 6.144V 1 bit = 3mV 46
1551 0.1875mV (default)
1552 47
1553 if (!ads.begin()) { 48
1554     Serial.println("Failed to initialize ADS."); 49
1555     while (1); 50
1556 } 51
1557 52
1558 WiFi.begin(ssid,password); 53
1559 while (WiFi.status() !=WL_CONNECTED){ 54
1560     delay(500); 55
1561     Serial.println("Waiting..."); 56
1562 } 57
1563 Serial.println("WiFi Connected."); 58
1564 59
1565 ThingSpeak.begin(UserClient); 60
1566 } 61
1567 62
1568 void loop(void) { 63
1569     ADCDataCapture(); 64
1570     WiFiDataSend(); 65
1571 } 66

```

1572

Listing 5: Código que se utilizó para el Banco de pruebas