

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO
QUE PROMUEVE EL DEPÓSITO DE BANDEJAS Y UTENSILIOS**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR

José Ernesto Espinoza Contreras

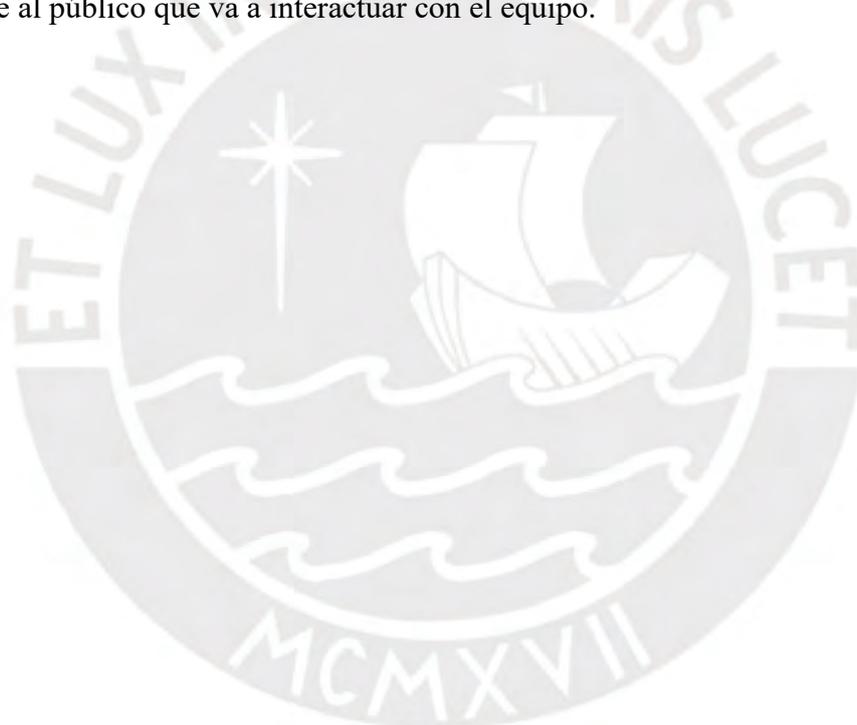
ASESOR:

Willy Eduardo Carrera Soria

Lima, octubre, 2020

RESUMEN

La falta de cultura y educación respecto al orden y limpieza es un problema que se ve reflejado día a día en la sociedad. En los comedores, se percibe un desinterés por gran parte del público en situar los utensilios en el lugar correcto después de su utilización. Por consiguiente, estos lugares lucen descuidados y sucios. El propósito de esta tesis es diseñar un equipo electrónico recolector para animar así al público a depositar los elementos de cubertería después de su uso. En el capítulo 1 se detalla acerca de las consecuencias generadas debido a este problema, así como la razón por la cual se diseña este sistema electrónico. En el capítulo 2 se comenta acerca de aquellos equipos que comparten ciertas características con este dispositivo tales como otorgamiento de objetos, lectura de objetos metálicos (cubiertos, latas), comunicación inalámbrica, entre otros. Seguidamente, en el capítulo 3 se explica el alcance de esta tesis, también el diseño e implementación de las diversas estructuras que contiene, la elección de componentes, así como los circuitos electrónicos. El capítulo 4 abarca los ensayos, pruebas en conjunto y resultados obtenidos. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones, especialmente al público que va a interactuar con el equipo.



TEMA DE TESIS

PARA OPTAR : Título profesional de Ingeniero Electrónico

TEMA : Diseño e implementación de un sistema electrónico que promueve el depósito de bandejas y utensilios

ÁREA : Circuitos y Sistemas Electrónicos

ASESOR : Mg. Willy Eduardo Carrera Soria

ALUMNO(S) : José Ernesto Espinoza Contreras - 20090421

FECHA : 23 de mayo del 2020

MÁXIMO : 100 páginas

DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:

Actualmente, la toma de conciencia respecto a la contaminación del planeta deja mucho que desear. Día a día, somos testigos de cómo las personas arrojan envolturas de comida, botellas de plástico, cáscaras de frutas y muchas cosas más a las calles. La consecuencia de estos sucesos es que la ciudad luzca descuidada. Esto se origina, principalmente, debido a la carencia de compromiso y conciencia por mantener un mundo ordenado y limpio. Análogamente, una manera distinta de incrementar la polución y el desorden radica en la falta de limpieza en los comedores y cocinas. Además, el desinterés por no situar las bandejas, platos y cubiertos en los respectivos lugares de almacenamiento después de su utilización, genera incomodidades en los comensales. Debido a esto, el objetivo general de esta tesis es diseñar e implementar un equipo electrónico que anime a las personas a depositar sus utensilios en dicho equipo después de culminar sus meriendas. Como compensación, se otorgará un chocolate aleatoriamente. El equipo, al llegar a su capacidad de almacenamiento máxima, notificará al comedor lo sucedido con un aviso luminoso mediante una conexión inalámbrica. Los objetivos específicos son el estudio de los problemas generados debido al no retorno de utensilios, el diseño e implementación de circuitos de sensado, acondicionamiento de señal y actuadores, entablar una comunicación de radiofrecuencia, diseñar e implementar el mecanismo de depósito de utensilios y entrega de chocolate, y finalmente, evaluar resultados mediante pruebas en conjunto. Esta tesis no solo está destinada a los comedores de la Pontificia Universidad Católica del Perú, sino a todos los lugares donde haya consumo de alimentos ya sea en fábricas, compañías, institutos y colegios del mundo.



TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño e implementación de un sistema electrónico que promueve el depósito de bandejas y utensilios

Índice

Introducción

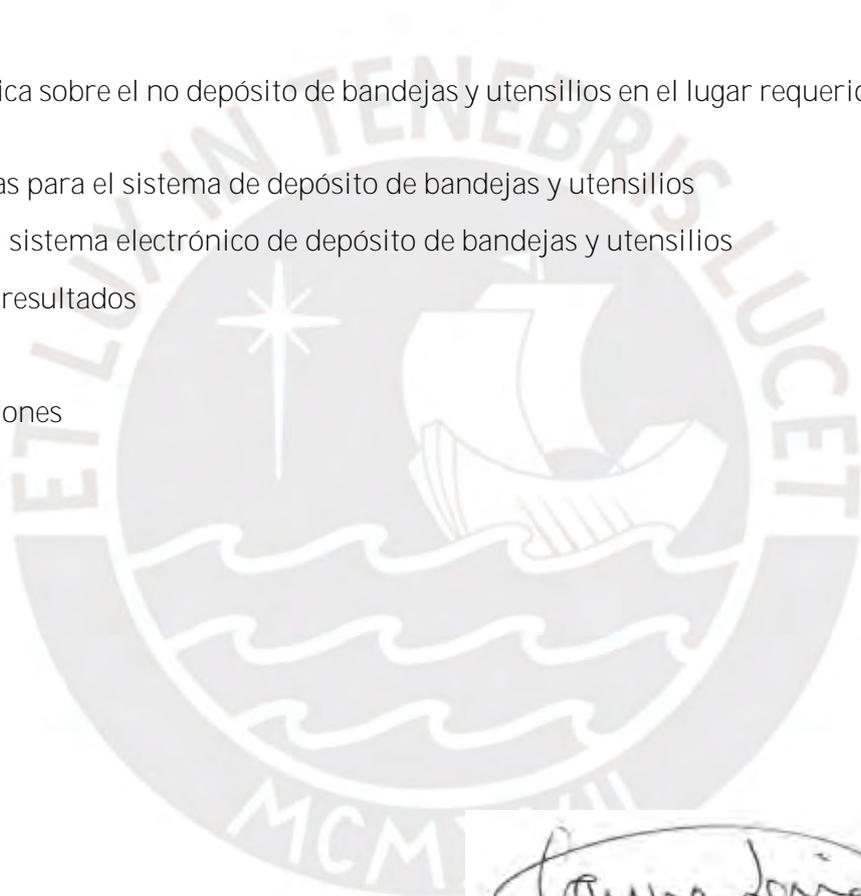
1. Problemática sobre el no depósito de bandejas y utensilios en el lugar requerido después de su utilización
2. Tecnologías para el sistema de depósito de bandejas y utensilios
3. Diseño del sistema electrónico de depósito de bandejas y utensilios
4. Ensayos y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos



Carolina Loria



A mis padres, por el apoyo y paciencia

*Un agradecimiento especial a Mauro
Colombatti por su colaboración en la
implementación del prototipo*

ÍNDICE GENERAL

Pág.

CAPÍTULO 1

PROBLEMÁTICA SOBRE EL NO DEPÓSITO DE BANDEJAS Y

UTENSILIOS EN EL LUGAR REQUERIDO DESPUÉS DE SU UTILIZACIÓN 1

1.1. Uso de comedores..... 1

1.2. Marco problemático..... 5

1.3. Necesidad del sistema de depósito de bandejas y utensilios 8

1.4. Objetivos..... 8

1.4.1. Objetivo general..... 8

1.4.2. Objetivos específicos 8

CAPÍTULO 2

TECNOLOGÍAS PARA EL SISTEMA DE DEPÓSITO DE BANDEJAS

Y UTENSILIOS..... 9

2.1. Equipos similares..... 9

2.1.1. Dispensador de boletos de bus 9

2.1.2. Expendedor de comida para perros 10

2.1.3. Dispensador de dulces..... 11

2.2. Tecnologías..... 11

2.2.1. Controlador 11

i. Microcontrolador 11

ii. Tarjeta de desarrollo Arduino 12

iii. Miniordenador Raspberry Pi 12

2.2.2. Sensores 13

i. Sensor inductivo 14

ii. Sensor óptico 15

2.2.3. Acondicionamiento de señal 15

i. Divisor de tensión 15

ii. Amplificador operacional 15

2.2.4. Excitador de potencia..... 16

i. Optoacoplador 16

ii. Relé..... 16

2.2.5. Drivers..... 16

i. L298N 16

ii. ULN2003AN 16

iii. A4988	17
2.2.6. Actuadores	17
i. Motor de corriente continua	17
ii. Motor paso a paso	17
iii. Servomotor	18
2.2.7. Tecnologías de comunicación inalámbrica	18
i. Bluetooth	19
ii. Wi-Fi.....	19
iii. Servicio de mensajes cortos (SMS).....	19
iv. Radiofrecuencia	19
 CAPÍTULO 3	
DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE DEPÓSITO DE	
BANDEJAS Y UTENSILIOS	
3.1. Alcance.....	21
3.2. Diagrama de bloques	23
3.2.1. Planta.....	24
3.2.2. Sensado	24
3.2.3. Acondicionamiento de señal	25
3.2.4. Interfaz de entrada.....	25
3.2.5. Excitador de potencia.....	25
3.2.6. Motor.....	26
3.2.7. Comunicación inalámbrica	26
3.2.8. Indicador luminoso	26
3.2.9. Controlador	27
3.2.10. Fuente de alimentación	27
3.3. Diseño de estructuras y elección de componentes	27
3.3.1. Estructura del mecanismo de apilamiento y lectura de platos de entrada y segundo	28
i. Requerimientos.....	28
ii. Alternativas.....	29
iii. Selección.....	30
3.3.2. Estructura para la lectura de cubiertos	34
i. Requerimientos.....	34
ii. Alternativas.....	34
iii. Selección.....	34

3.3.3. Estructura para la lectura de bandejas	35
i. Requerimientos	35
ii. Alternativas.....	36
iii. Selección.....	36
3.3.4. Entrega de obsequios	37
a. Elección de obsequio	37
i. Requerimiento	37
ii. Alternativas.....	37
iii. Selección.....	37
b. Estructura y mecanismo de entrega de chocolate.....	38
i. Requerimientos	41
ii. Alternativas.....	42
iii. Selección.....	42
3.4. Indicador luminoso.....	43
i. Requerimientos.....	43
ii. Alternativas	44
iii. Selección.....	45
3.5. Controlador.....	45
i. Requerimientos.....	45
ii. Alternativas.....	45
iii. Selección.....	46
3.6. Alimentación	47
i. Requerimientos.....	47
ii. Alternativas.....	47
iii. Selección.....	47
3.7. Diseño de circuitos	48
3.8. Diagramas de flujo	55
3.8.1. Planta.....	55
3.8.2. Receptor.....	64
3.9. Costos	65
CAPÍTULO 4	
ENSAYOS Y RESULTADOS	67
4.1. Detección de platos.....	67
4.1.1. Prueba de apilamiento vertical.....	67
4.1.2. Prueba de desplazamiento vertical.....	67

4.1.3. Lectura de platos	69
4.1.4. Prueba de corriente consumida de motor DC	69
4.2. Detección de cubiertos	69
4.2.1. Prueba de estructura de detección.....	69
4.2.2. Prueba de detección de cubiertos con canal a 54°	71
i. Tenedor.....	71
ii. Cuchillo	72
iii. Cuchara standard	73
iv. Cuchara pequeña.....	74
4.2.3. Lectura de cubiertos	75
4.3. Detección de bandejas	76
4.3.1. Prueba de funcionamiento.....	76
4.3.2. Lectura de bandejas.....	76
4.4. Entrega de chocolate.....	76
4.4.1. Prueba de funcionamiento.....	76
4.4.2. Lectura de corriente consumida por los motores paso a paso.....	77
4.5. Prueba de comunicación por radiofrecuencia.....	77
4.5.1. Prueba de funcionamiento de NRF24L01.....	77
4.5.2. Prueba de funcionamiento de NRF24L01+PA+LNA.....	77
4.6. Prueba de funcionamiento de indicador luminoso	78
4.7. Prueba de funcionamiento de fuente de alimentación.....	78
4.8. Pruebas en conjunto.....	79
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES.....	87
BIBLIOGRAFÍA	89

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Problemas en los comedores.....	4
Tabla 3.1. Sensado	24
Tabla 3.2. Acondicionamiento de señal	25
Tabla 3.3. Interfaz de entrada	25
Tabla 3.4. Excitador de potencia.....	26
Tabla 3.5. Motor	26
Tabla 3.6. Comunicación inalámbrica	26
Tabla 3.7. Indicador luminoso	26
Tabla 3.8. Controlador	27
Tabla 3.9. Fuente de alimentación	27
Tabla 3.10. Alternativas de elección del sensor para detectar platos.....	29
Tabla 3.11. Alternativas de elección del motor DC.....	30
Tabla 3.12. Alternativas de elección del driver para motor DC	33
Tabla 3.13. Alternativas de elección del sensor inductivo.....	34
Tabla 3.14. Alternativas de elección del sensor para detectar bandejas	36
Tabla 3.15. Alternativas de obsequio.....	37
Tabla 3.16. Alternativas de elección del actuador	42
Tabla 3.17. Alternativas de elección del driver para motor paso a paso	43
Tabla 3.18. Alternativas de elección de tipo de comunicación.....	44
Tabla 3.19. Alternativas de elección de la comunicación inalámbrica.....	44
Tabla 3.20. Alternativas de elección del indicador luminoso	45
Tabla 3.21. Alternativas de elección del controlador	46
Tabla 3.22. Alternativas de elección de fuente de alimentación.....	47
Tabla 3.23. Diseño del circuito del prototipo	48
Tabla 3.24. Diseño del circuito del receptor	55
Tabla 3.25. Costos.....	65
Tabla 4.1. Detección de tenedor	71
Tabla 4.2. Detección de cuchillo.....	72
Tabla 4.3. Detección de cuchara standard	73
Tabla 4.4. Detección de cuchara pequeña.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Uso de comedores	1
Figura 1.2. Hacinamiento en el comedor central	2
Figura 1.3. Filas para compra de menú en el comedor de letras	2
Figura 1.4. Personas almorzando en el comedor	3
Figura 1.5. Bandejas, platos y cubiertos en lugares inapropiados	5
Figura 1.6. Utensilios sobre la mesa sin ser depositados después de su utilización	6
Figura 1.7. Aves atraídas por residuos de comida	6
Figura 1.8. Portabandejas usado actualmente	7
Figura 2.1. Dispensador de boletos de bus [7].....	9
Figura 2.2. (Izq.) Expendedor. (Der.) Entrega de alimentos [9].....	10
Figura 2.3. Dispensador de comida para perros y gatos callejeros [10]	10
Figura 2.4. (Izq.) Dispensador. (Der.) Juego aleatorio [12].....	11
Figura 2.5. Pista de aluminio [12].....	11
Figura 2.6. Configuración PNP para un sensor de 3 hilos [25]	13
Figura 2.7. Configuración NPN para un sensor de 3 hilos [25].....	13
Figura 2.8. Campo electromagnético generado por un sensor inductivo [27].....	14
Figura 2.9. Señal de salida de un sensor inductivo en presencia (sin oscilaciones) y ausencia (oscilaciones) de objetos [28]	14
Figura 2.10 a) Modo barrera emisor-receptor, b) Modo barrera reflectiva, c) Modo difuso [29]	15
Figura 2.11. Circuito integrado ULN2003AN [40]	16
Figura 2.12. Transistores en configuración Darlington NPN en emisor común [41].....	17
Figura 2.13. A4988 [42]	17
Figura 2.14. Motor paso a paso [46].....	18
Figura 2.15. Servomotor [48].....	18
Figura 2.16. NRF24L01 [57]	20
Figura 2.17. NRF24L01+PA+LNA [58]	20
Figura 3.1. Planta	21
Figura 3.2. Desnivel.....	22
Figura 3.3. Apilamiento de platos de entrada	22
Figura 3.4. Orificio para depósito de cubiertos.....	23
Figura 3.5. Orificio para depósito de bandejas	23

Figura 3.6. Diseño del sistema.....	24
Figura 3.7. Diseño de señales de entrada y salida.....	28
Figura 3.8. Sensor E3F-R2N12.....	30
Figura 3.9. Motor K6DG15N1.....	31
Figura 3.10. (Izq.) Caja reductora K6G10BX. (Der.) Caja reductora K6G18C.....	32
Figura 3.11. Mecanismo de apilamiento de platos	33
Figura 3.12. Sensor LJ30A3-15-Z/BY.....	35
Figura 3.13. Estructura para la lectura de cubiertos.....	35
Figura 3.14. Sensor infrarrojo	36
Figura 3.15. Ranura.....	36
Figura 3.16. Estructura para la lectura de bandejas	37
Figura 3.17. Dulces de chocolate.....	38
Figura 3.18. Plataforma de dulces.....	38
Figura 3.19. Tope.....	39
Figura 3.20. Embudo y disco	39
Figura 3.21. Disco y canal	40
Figura 3.22. Estructura y mecanismo de entrega de chocolate.....	41
Figura 3.23. Motor paso a paso KH42JM2B237A	42
Figura 3.24. Motor paso a paso JK57HM41-2804 [63].....	43
Figura 3.25. Divisor de tensión.....	46
Figura 3.26. Adaptador para el NRF24L01	47
Figura 3.27. Circuito esquemático del controlador arduino mega.....	49
Figura 3.28. Circuito esquemático del sensor óptico que detecta platos de entrada	49
Figura 3.29. Circuito esquemático del sensor óptico que detecta platos de segundo	50
Figura 3.30. Circuito esquemático del sensor óptico que detecta bandejas.....	50
Figura 3.31. Circuito esquemático del sensor óptico que detecta dulces en el disco	50
Figura 3.32. Circuito esquemático del sensor inductivo que detecta cubiertos.....	51
Figura 3.33. Circuito esquemático del driver del motor paso a paso 1	51
Figura 3.34. Circuito esquemático del driver del motor paso a paso 2	52
Figura 3.35. Circuito esquemático del final de carrera superior, platos de entrada. El pin 32 se configura en el programa con resistencia interna de pull-up.....	52
Figura 3.36. Circuito esquemático del final de carrera inferior, platos de entrada. El pin 4 se configura en el programa con resistencia interna de pull-up.....	52

Figura 3.37. Circuito esquemático del final de carrera superior, platos de segundo. El pin 47 se configura en el programa con resistencia interna de pull-up.....	53
Figura 3.38. Circuito esquemático del final de carrera inferior, platos de segundo. El pin 26 se configura en el programa con resistencia interna de pull-up.....	53
Figura 3.39. Circuito esquemático del botón que inicia el juego aleatorio. El pin 46 se configura en el programa con resistencia interna de pull-up	53
Figura 3.40. Circuito esquemático del botón orientado al cocinero. El pin 34 se configura en el programa con resistencia interna de pull-up	53
Figura 3.41. Circuito esquemático del prototipo	54
Figura 3.42. Circuito esquemático del receptor	55
Figura 3.43. Diagrama de flujo del programa principal, parte 1.....	56
Figura 3.44. Diagrama de flujo del programa principal, parte 2.....	57
Figura 3.45. Diagrama de flujo del programa principal, parte 3.....	58
Figura 3.46. Diagrama de flujo del programa principal, parte 4.....	59
Figura 3.47. Diagrama de flujo de la subrutina Lectura_lo_4.....	60
Figura 3.48. Diagrama de flujo de la subrutina Banderas_activadas.....	61
Figura 3.49. Diagrama de flujo de la subrutina Dar_dulce, parte 1	62
Figura 3.50. Diagrama de flujo de la subrutina Dar_dulce, parte 2.....	63
Figura 3.51. Diagrama de flujo del programa principal del receptor.....	64
Figura 4.1. Desnivel circular.....	67
Figura 4.2. Final de carrera superior.....	68
Figura 4.3. Final de carrera inferior.....	68
Figura 4.4. Instalación del sensor infrarrojo	69
Figura 4.5. Diseño del canal con un sensor inductivo	70
Figura 4.6. Canal de detección de cubiertos	71
Figura 4.7. Detección de 2 pulsos con tenedor	72
Figura 4.8. Detección de un ancho de pulso de 276 ms.....	73
Figura 4.9. Detección de 2 pulsos con cuchara standard	74
Figura 4.10. Detección de 2 pulsos con cuchara pequeña	75
Figura 4.11. Almacenamiento de cubiertos	76
Figura 4.12. Pequeña puerta.....	77
Figura 4.13. Lámpara de 12 VDC.....	78
Figura 4.14. Prototipo	79
Figura 4.15. Tarjeta del prototipo	79
Figura 4.16. Detección de platos de segundo	80

Figura 4.17. Ausencia de platos.....	80
Figura 4.18. Platos almacenados.....	81
Figura 4.19. Platos ascendidos.....	81
Figura 4.20. Bandejas almacenadas.....	82
Figura 4.21. Cubiertos almacenados.....	82
Figura 4.22. Receptor.....	83
Figura 4.23. Corriente al ascender 30 platos de segundo.....	83
Figura 4.24. Corriente al ascender 30 platos de segundo y entrada.....	84



INTRODUCCIÓN

Actualmente, la toma de conciencia respecto a la contaminación del planeta es poca. Día a día, somos testigos de cómo las personas arrojan envolturas de comida, botellas de plástico, cáscaras de frutas y muchas cosas más a las calles. Esto se origina, principalmente, debido a la falta de compromiso y conciencia por mantener un mundo ordenado y limpio [1]. En consecuencia, lo mencionado conlleva a la apariencia de una ciudad descuidada y desordenada.

Desde hace una década [2], se llevan a cabo actividades y eventos cuyo propósito es promover la protección del medio ambiente. “La hora del planeta” es una actividad mundial que consiste en comprometer a los ciudadanos, organizaciones, instituciones, compañías y gobiernos a desconectar la mayoría de dispositivos y artefactos. Además, desactivar interruptores de todas las instalaciones para así reducir el consumo de energía eléctrica por un determinado tiempo (usualmente 1 hora). Este gesto simbólico posee como fin que la sociedad considere y tome conciencia del cuidado del mundo que nos rodea [2]. Otra iniciativa consta en reducir el uso de automóviles por un día; en lugar de ello, se promueve el empleo de otro medio de movilización como la bicicleta, ir a pie, transporte público, tren, entre otros, y por supuesto, que la sociedad reflexione sobre el daño causado al contaminar el ambiente [3].

Análogamente, una manera de incrementar la polución y el desorden radica en la falta de limpieza en los comedores y cocinas. Adicionalmente, el desinterés por no situar las bandejas, platos y cubiertos en los respectivos lugares de almacenamiento después de su utilización, genera incomodidades en los comensales. El concesionario encargado del comedor también sufre este efecto ya que algunos de dichos elementos son reportados como extraviados debido a este mal hábito [5].

El equipo electrónico de recolección de bandejas y utensilios de cubertería busca animar al público a ser más cuidadoso y responsable situando cada uno de estos elementos (bandejas, platos y cubiertos) en las respectivas zonas del dispositivo después del consumo de alimentos. A cambio, aleatoriamente, otorgará un dulce de chocolate. Además, al llegar a su capacidad de almacenamiento máxima, notificará al comedor lo sucedido por medio de un aviso luminoso mediante una conexión inalámbrica.

Esta tesis no solo está destinada a los comedores de la Pontificia Universidad Católica del Perú, sino a todos los lugares donde haya consumo de alimentos ya sea en fábricas, compañías, institutos y colegios del mundo.

CAPÍTULO 1

PROBLEMÁTICA SOBRE EL NO DEPÓSITO DE BANDEJAS Y UTENSILIOS EN EL LUGAR REQUERIDO DESPUÉS DE SU UTILIZACIÓN

El presente capítulo menciona los problemas generados en el uso de comedores. Adicionalmente, abarca las causas y consecuencias producidas debido a no situar las bandejas de menús y utensilios en el lugar indicado al culminar el consumo de alimentos.

1.1. Uso de comedores

En los comedores, donde se requiere el uso de bandejas para transportar menús, se presentan inconvenientes desde la compra del ticket hasta el término del servicio alimentario. Estos son mostrados en la figura 1.1, en las que se menciona cada etapa.

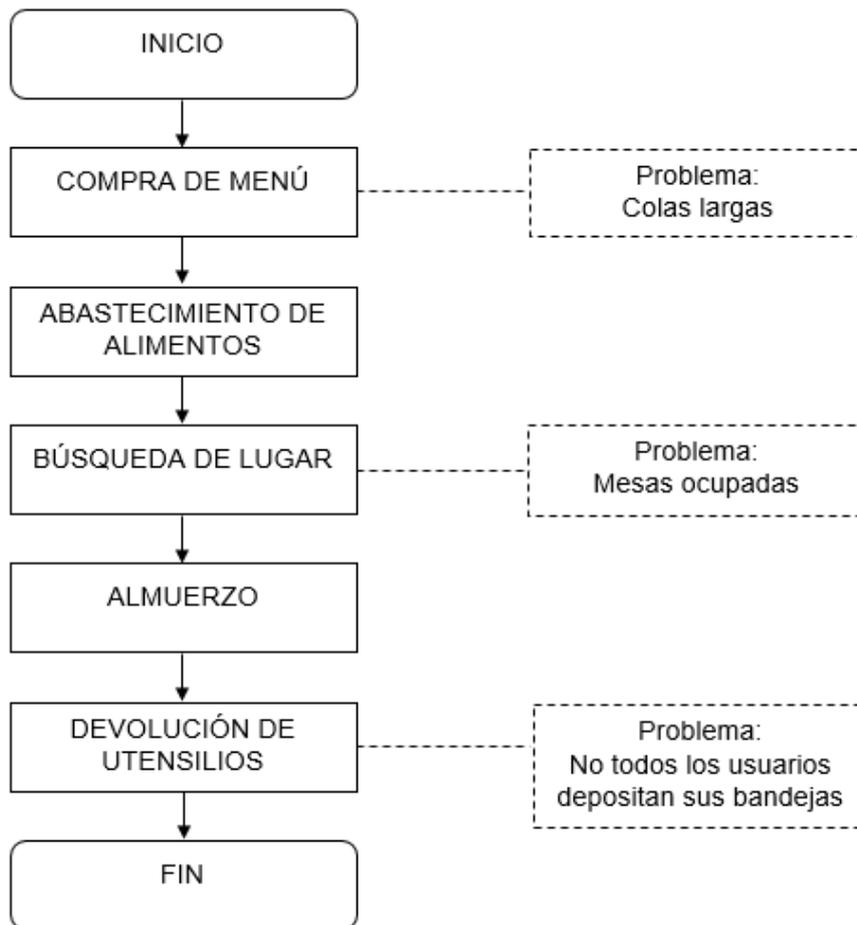


Figura 1.1. Uso de comedores. Fuente: elaboración propia.

Desde que una persona desea comprar un menú, esta debe seguir ciertos pasos. En primer lugar, la compra del ticket, en el cual se presenta un problema como las filas largas debido al gran

número de personas que también almorzarán o cenarán en dicho comedor. En segundo lugar, se debe formar otra fila para el abastecimiento del menú, lo cual genera una doble espera como se aprecia en las figuras 1.2 y 1.3.



Figura 1.2. Hacinamiento en el comedor Central. Fuente: elaboración propia.



Figura 1.3. Filas para compra de menú en el comedor de Estudios Generales Letras.

Fuente: elaboración propia.

Luego, se procede a la búsqueda de un lugar para el consumo de alimentos. Aquí surge otro inconveniente, en horas de almuerzo, es decir entre el mediodía y las 3 de la tarde, la mayoría de mesas del comedor se encuentran ocupadas, por lo cual es complicado encontrar un espacio libre. En esta situación, mientras algunas personas almuerzan como en la figura 1.4, otras optan por hacerlo en las áreas verdes u otros lugares que no son adecuados para el consumo de

alimentos. En caso de una merienda nocturna, estos problemas se reducen notablemente ya que solo un pequeño número de personas cena en la universidad.



Figura 1.4. Personas almorzando en el comedor. Fuente: elaboración propia.

Terminada la merienda, no todos demuestran el cuidado y cultura que poseen respecto al orden y medio ambiente, es decir no retornan los utensilios después de utilizarlos. Los problemas mencionados anteriormente son descritos en la tabla 1.1. en la cual se indica las causas y características.

Tabla 1.1.

Problemas en los comedores

Problemas	Causas y características
Filas largas / congestionamiento de servicios	<ul style="list-style-type: none"> - Gran número de usuarios [5]. Además, los comedores no fueron diseñados para atender a una vasta cantidad de alumnos [5]. Este número aumenta anualmente [6]. - Solo se cuenta con una cajera atendiendo los tickets [5]. - Demora en la entrega de menús.
Mesas ocupadas	<ul style="list-style-type: none"> - Sobrepoblación del alumnado. - Poco número de mesas. <p>Esto genera que algunos consuman sus alimentos en las áreas verdes u otros ambientes.</p>
Bandejas de menús no depositadas en el lugar correcto	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de educación y cultura del orden [1, 5]. - Nula conciencia acerca del cuidado del medio ambiente. - Usuarios que carecen de organización y orden. <p>Las consecuencias son los malos olores y la apariencia de un comedor antihigiénico.</p>

Fuente: elaboración propia.

Como se aprecia, el uso del comedor no solo presenta el problema del no depósito de bandejas, sino también la formación de filas largas y mesas ocupadas. Esta tesis se enfoca en solucionar el último problema mencionado en la tabla 1.1, el cual es detallado a fondo en la siguiente sección.

1.2. Marco problemático

En los comedores se presentan inconvenientes en aquellos casos en que los comensales no sitúan los utensilios en los lugares correspondientes después de culminar sus meriendas como se muestra en las figuras 1.5 y 1.6. La causa radica en la falta de conciencia ambiental respecto al entorno, cultura y educación [1, 5]. Dichos inconvenientes vienen a ser el mayor trabajo generado a las personas que laboran en el comedor, ya que deben recolectar estos elementos que se encuentran en distintas zonas del lugar. También desorden, olores desagradables e insalubridad, provocando el aspecto de un comedor antihigiénico [4]. Además, pérdidas de cubiertos y platos, generando mayores gastos al concesionario de alimentos. Hasta el año 2013, mensualmente se extraviaban 3000 cubiertos, 1000 platos de entrada y 900 platos de segundo en el campus universitario [5]. Por ende, se ocasiona una pérdida considerable de dinero que perjudica a dicha empresa.



Figura 1.5. Bandejas, platos y cubiertos en lugares inapropiados. Fuente: elaboración propia.



Figura 1.6. Utensilios sobre la mesa sin ser depositados después de su utilización.
Fuente: elaboración propia.

Asimismo, los animales que rondan el sitio sienten atracción por los restos de comida, lo cual es apreciado en la figura 1.7, por lo cual la situación se agrava causando molestias a las personas.



Figura 1.7. Aves atraídas por residuos de comida. Fuente: elaboración propia.

Otro inconveniente es que los trabajadores de los comedores no cuentan con un sistema de aviso en caso de que el portabandejas usado actualmente se encuentre totalmente ocupado, apreciado en la figura 1.8. Esto genera que las personas no puedan depositar sus bandejas en ella.



Figura 1.8. Portabandejas usado actualmente. Fuente: elaboración propia.

Los trabajadores requieren permanecer atentos, revisando cada cierto tiempo si la mencionada estructura de depósito se encuentra lista para proceder al retiro de los objetos que contiene. Además, a menudo, no se cuenta con alguien en específico que recoja las bandejas [5]. Esto ocasiona la interrupción de las labores aumentando el tiempo perdido al buscar aquellos platos, cubiertos o bandejas situadas en distintas partes del comedor.

1.3. Necesidad del sistema de depósito de bandejas y utensilios

Actualmente, no existe a disposición equipos que promuevan al público almacenar estos objetos ni mucho menos uno que notifique a proceder con el retiro de los mismos. En base a lo explicado en la sección 1.2, existen suficientes razones por las cuales se debería considerar el diseño de un sistema electrónico que valide el correcto depósito de utensilios, otorgando así un mejor servicio de comedor. Además, debido a la falta de voluntad de las personas, el equipo busca promover este hábito otorgando un regalo aleatoriamente, que será un chocolate. Posteriormente, cuando el equipo haya alcanzado el límite de almacenamiento, el sistema entablará una comunicación inalámbrica con los trabajadores del comedor a fin de notificar lo acontecido para proceder con el retiro de los elementos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Diseño e implementación de un equipo electrónico que incentive el depósito de bandejas y utensilios después de su utilización. Estos elementos depositados son platos de entrada y segundo, cubiertos y bandejas, y serán almacenados en dicho equipo.

1.4.2. Objetivos específicos

- Estudio de la problemática en los comedores donde no retornan las vajillas de menús.
- Diseño e implementación de circuitos de sensado, acondicionamiento de señal, excitador de potencia y actuador.
- Diseño e implementación del mecanismo de depósito de los cuatro elementos de cubertería.
- Diseño e implementación del mecanismo de entrega de dulces.
- Desarrollo del circuito de transmisión a otra zona del comedor utilizando una comunicación de radiofrecuencia.
- Evaluación de resultados mediante pruebas en conjunto.

CAPÍTULO 2

TECNOLOGÍAS PARA EL SISTEMA DE DEPÓSITO DE BANDEJAS Y UTENSILIOS

En este capítulo, se mencionan las generalidades acerca de proyectos y equipos que comparten requerimientos semejantes como el depósito de objetos y/o entrega de elementos que cuentan con mecanismos, componentes electrónicos y piezas mecánicas de suma utilidad y provecho para esta tesis.

Además, se desarrollan los conceptos sobre las tecnologías disponibles para este sistema. En adición, la comunicación inalámbrica que se implementa entre este y otro dispositivo.

2.1. Equipos similares

Distintos equipos promueven el reciclaje de objetos tales como botellas de plástico y vidrio, latas, envases descartables, etcétera. A cambio, otorgan un obsequio como saldo en las tarjetas del metro, tickets de buses, vouchers, monedas y alimentación a animales callejeros [7–14].

2.1.1. Dispensador de boletos de bus

En Sídney, Australia, se cuenta con máquinas que ofrecen un boleto de bus a cambio de depositar botellas de plástico y latas como se muestra en la figura 2.1 [7]. Esta iniciativa busca incitar a las personas a reciclar estos objetos a fin de mantener la higiene en las calles beneficiando así la calidad de vida de los habitantes. Al llegar a su capacidad (2000 envases), remite un email a la alcaldía informando que el dispensador alcanzó el máximo de botellas permitidas [8].

Similarmente, el sistema electrónico presente en esta tesis notifica a las personas encargadas del comedor que se ha almacenado la cantidad máxima de utensilios.



Figura 2.1. Dispensador de boletos de bus [7].

2.1.2. Expendedor de comida para perros

Cada cierto periodo de tiempo, se otorga una determinada cantidad de comida para canes, mostrado en las figuras 2.2 a) y b) [9]. Se toma en cuenta el uso de un servomotor y una placa Arduino, tecnología de interés en esta tesis.



Figura 2.2. (Izq.) Expendedor. (Der.) Entrega de alimentos [9].

Además, existe otro dispensador elaborado por una compañía turca que tuvo una ingeniosa idea: dispensar comida para perros y gatos callejeros a cambio del reciclaje de botellas de plástico como se aprecia en la figura 2.3. Además, funciona con energía solar. En Estambul, Turquía, existen alrededor de 150 000 perros que deambulan por las calles sin dueño, esta es una de las razones por la cual se elaboró dicho equipo [10].



Figura 2.3. Dispensador de comida para perros y gatos callejeros [10].

2.1.3. Dispensador de dulces

Este equipo casero está diseñado de manera divertida cuya intención es obsequiar caramelos. Mediante un juego aleatorio, otorga dichos dulces al oprimir un botón, apreciado en la figura 2.4. El fabricante consideró el uso de un motor paso a paso para conceder dicho premio [11], lo cual es apreciable para las decisiones técnicas de esta tesis.



Figura 2.4 (Izq.) Dispensador. (Der.) Juego aleatorio [12].

Además, los caramelos se entregan mediante una pista de aluminio, mostrada en la figura 2.5.



Figura 2.5. Pista de aluminio [12].

2.2. Tecnologías

La utilización de diferentes componentes difiere de acuerdo a la aplicación. Para el sistema electrónico de depósito de bandejas se analizará la variedad de tecnologías disponibles.

2.2.1. Controlador

i. Microcontrolador

Es un circuito integrado que desempeña diversas funciones como el control en la regulación de tensión, amplificador, conversión analógica/digital, temporización, etcétera. Además, cuenta con un microprocesador, memoria, puertos de entrada/salida [15]. Mayormente son designados

para aplicaciones embebidas y son usados en dispositivos controlados automáticamente como celulares, cámaras, horno microondas, lavadoras, entre otros. El tamaño del microcontrolador y la capacidad de memoria varían en distintos modelos. Ejecuta instrucciones en diversos lenguajes de programación.

Características

- Contienen un microprocesador que puede ser de 8, 16 o 32 bits
- Memoria RAM, ROM, EEPROM
- Presentan diferentes arquitecturas como Harvard o Von Neumann
- Posee un oscilador que opera a una determinada frecuencia

ii. Tarjeta de desarrollo Arduino

Es una plataforma de código abierto basado en hardware y software: un microcontrolador y un entorno de desarrollo (IDE) que se basa en el entorno de Processing, similar a C++, y lenguaje de programación en Wiring. En su placa, contiene pines que pueden programarse como entradas con la capacidad de leer un gran número de sensores o salidas, que pueden controlar luces, accionar motores, etcétera. Los variados modelos de placas de desarrollo difieren por la frecuencia a la que trabajan, números de entradas/salidas, capacidad de memoria EEPROM, entre otros. Respecto a la programación, los distintos modelos vienen precargados con un gestor de arranque (llamado bootloader), el cual se encarga de grabar el programa que se desea sin contar con un programador por hardware externo [16–19].

El dispensador que otorga cada cierto tiempo alimentos para perros (sección 2.1.2) utiliza un Arduino Duemilanove, actualmente discontinuado. Del mismo modo, el dispositivo que otorga dulces por Halloween (sección 2.1.3) dispone de un Arduino UNO R3 (actual versión del Duemilanove), ya que la persona que lo elaboró considera que posee un costo económico y de programación simple [11]. También es usado en un equipo cuya función es alimentar peces cada cierto tiempo evitando que esta tarea sea encargada a una persona [13].

iii. Miniordenador Raspberry Pi

Es un ordenador de pequeñas dimensiones que contiene un microprocesador ARM con potencia de hasta 1GHz, memoria, GPU videocore IV, periféricos de entrada y un vasto número conexiones de salida permitiendo la posibilidad de conectarse con una interfaz de red Ethernet, conexión USB, HDMI, entre otros [22]. Posee un sistema operativo que permite la instalación de variado software. También, cabe la posibilidad de conectar un teclado o un ratón dándole mayores funcionalidades respecto a un microcontrolador o tarjetas de desarrollo que carecen

de esta característica. La mayoría de aplicaciones son la reproducción de películas (resolución 1080p), sustitución al Chromecast de Google o al Apple TV, entre otros. [21, 23]

Otro equipo, aparte de los mencionados en la sección 2.1, que también otorga dulces, utiliza un Raspberry Pi y una comunicación inalámbrica para proceder a la entrega de caramelos [14].

2.2.2. Sensores

Son dispositivos que detectan magnitudes físicas para transformarlas en señales eléctricas. Estas magnitudes pueden ser temperatura, presencia, humedad, etcétera. Existen aquellos cuya señal emitida puede ser variable, llamados analógicos, o constante, llamados digitales [24]. Un sensor también puede ser PNP o NPN. Un ejemplo de sensor es el termopar que proporciona una señal variable cuando se calienta o enfría.

PNP

La señal de salida del sensor debe ir conectada a la carga y esta, a tierra (GND), mostrado en la figura 2.6. La corriente fluirá a través de la carga cuando la señal de salida del sensor se encuentre en nivel lógico alto, es decir, cuando haya detección.

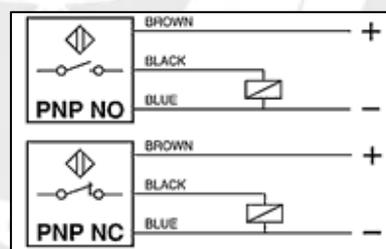


Figura 2.6. Configuración PNP para un sensor de 3 hilos [25].

NPN

De manera similar, la señal de salida del sensor debe ir conectada a la carga y esta, a la tensión de alimentación (VCC), mostrado en la figura 2.7. La corriente fluirá a través de la carga cuando la señal de salida del sensor se encuentre en nivel lógico bajo, esto sucede cuando detecte la presencia de algún objeto.

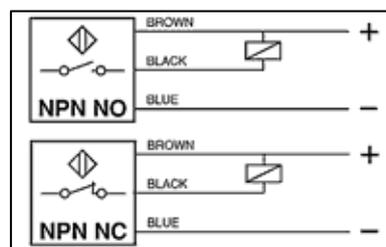


Figura 2.7. Configuración NPN para un sensor de 3 hilos [25].

Sensores analógicos y digitales se presentan en distintos tipos que varían de acuerdo al material a detectar, tensión de operación, señal de salida, alcance, etcétera.

i. Sensor inductivo

Un sensor inductivo es aquel capaz de detectar materiales ferrosos sin tener contacto físico con estos objetos.

Funcionamiento

El sensor contiene un oscilador y una bobina localizados en un extremo. Además, también cuenta con un circuito de disparo que monitorea la amplitud del oscilador. Seguidamente, al energizar el inductor, este produce un campo electromagnético que se propaga en la superficie frontal del sensor, mostrado en la figura 2.8. De esta manera, la detección de objetos metálicos se originará debido a que el elemento, al estar dentro del rango de detección del sensor, poseerá corrientes (de Foucault) inducidas por dicha influencia magnética [24].

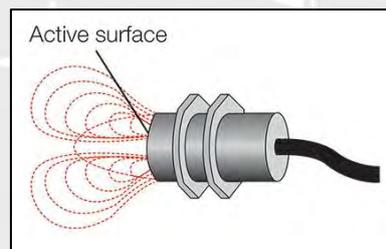


Figura 2.8. Campo electromagnético generado por un sensor inductivo [27].

Posteriormente, dichas corrientes inducirán un campo magnético opuesto al producido por el sensor. En consecuencia, el campo resultante será menor en amplitud de oscilación, mostrado en la figura 2.9.

Finalmente, debido a que se detectó el material metálico, la carga del sensor aumenta y el circuito de disparo cambia el estado de la salida del sensor. A medida que la distancia entre ambos elementos se incrementa, la amplitud del oscilador también lo hará a uno predeterminado inicialmente, cuando no se detectaba ningún cuerpo.

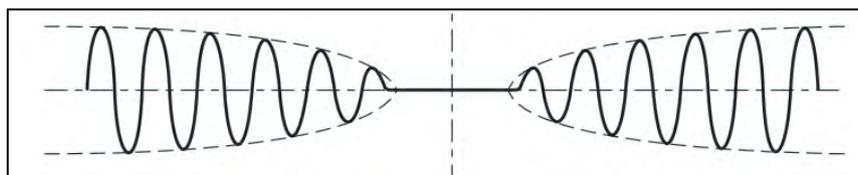


Figura 2.9. Señal de salida de un sensor inductivo en presencia (sin oscilaciones) y ausencia (oscilaciones) de objetos [28].

ii. Sensor óptico

Un sensor óptico sirve para detectar presencia de cualquier objeto ya que no los discrimina por el tipo de material [24, 29]. Consta de un emisor y receptor, el primero emite un haz de luz mientras el segundo, al recibirlo, proporciona una señal de salida de acuerdo a la intensidad de luz incidente. Es decir, este tipo de sensor reacciona a los cambios de cantidad de luz que recibe. Las mediciones pueden ser analógicas (ejemplo: distancia) o digitales.

Se pueden configurar como barrera emisor-receptor, barrera reflectiva, en ambos casos, se detecta algún objeto si éste intercepta el haz de luz, y finalmente, difuso, la cual es una variante de los primeros modos, mostrado en la figura 2.10 a), b) y c).

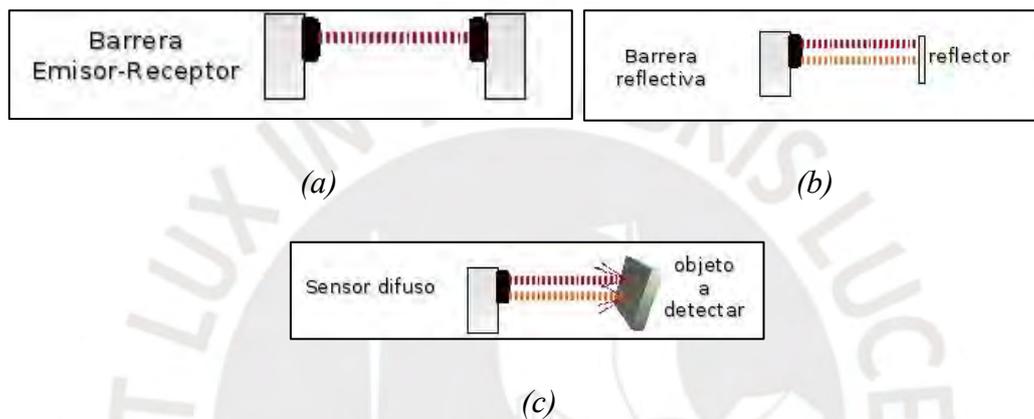


Figura 2.10 a) Modo barrera emisor-receptor, b) Modo barrera reflectiva, c) Modo difuso [29].

2.2.3. Acondicionamiento de señal

La señal proveniente de un sensor debe ser procesada para adaptarla a la siguiente etapa del circuito. Esta señal puede ser demasiado pequeña o demasiado alta en tensión. En el primer caso, será necesario amplificarla mientras en el segundo, reducirla. Adicionalmente, la señal puede ser analógica y es deseable requerir su digitalización o viceversa [30].

i. Divisor de tensión

Es un circuito cuya función es obtener una tensión menor a la que ingresa al circuito. Por medio de elementos resistivos, se obtendrá un voltaje de salida equivalente a una fracción del de entrada.

ii. Amplificador operacional

Es un componente que puede amplificar una señal de baja magnitud en otra mayor, es un amplificador de alta ganancia de corriente continua [30]. Por ejemplo, puede ampliar una señal de milivoltios a voltios. También puede ser usado como comparador entre dos señales.

2.2.4. Excitador de potencia

i. Optoacoplador

Es un encapsulado que contiene un fotoemisor y un fotoreceptor. Convierte una señal eléctrica en otra con la capacidad de aislar eléctricamente ambos circuitos (entrada y salida) [33]. Los fotoreceptores pueden ser fototransistores o fototriacs. La utilización de cada uno de ellos será dependiente de la aplicación ya que, por ejemplo, un fototriac es óptimo cuando se quiere trabajar con corriente alterna.

ii. Relé

Es un interruptor electromecánico que se acciona mediante un electroimán. El núcleo del electroimán está formado por una barra de hierro rodeada por una bobina [34]. Al alimentarla, genera un campo magnético convirtiéndose en un imán que acciona unos contactos que permite alimentar otros circuitos.

2.2.5. Drivers

“La mayoría de dispositivos eléctricos y electrónicos requieren tensiones y corrientes que destruirán los circuitos digitales, por tanto, en términos generales, debemos confiar dicha labor a los llamados circuitos controladores o drivers” [36].

Estos incluyen excitadores de potencia entre sus componentes, amplificando, de esta manera, una pequeña señal de control de baja corriente en una de alta que pueda alimentar el actuador.

i. L298N

El driver L298N es un puente H dual que permite controlar el sentido de giro y velocidad de dos motores DC o un motor paso a paso por medio de señales TTL. Su funcionamiento es explicado en el anexo A.

ii. ULN2003AN

Es un circuito integrado, que se muestra en la figura 2.11, y que contiene transistores en configuración Darlington en emisor común, apreciado en la figura 2.12. Puede controlar relés, motores, displays, etcétera. El ULN2003AN también se suele usar para controlar motores paso a paso que no requieran grandes corrientes.

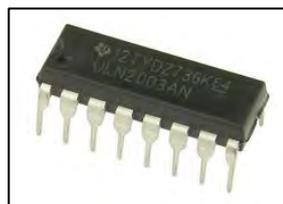


Figura 2.11. Circuito integrado ULN2003AN [40].

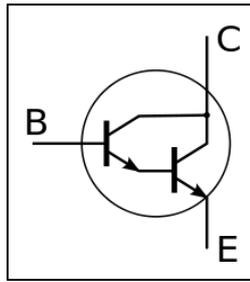


Figura 2.12. Transistores en configuración Darlington NPN en emisor común [41].

iii. A4988

Es una placa que incluye el chip de Allegro A4988, apreciada en la figura 2.13, y se usa para controlar motores paso a paso que consuman un máximo de 2 amperios por bobina. Para corrientes mayores a 1 amperio, es recomendable aplicar un disipador de aluminio al chip [42]. Su funcionamiento es explicado en el anexo B.

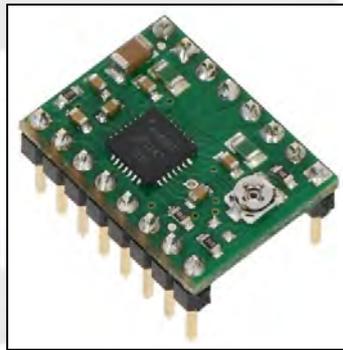


Figura 2.13. A4988 [42].

2.2.6. Actuadores

i. Motor de corriente continua

Un motor convierte energía eléctrica en mecánica. Consta de dos partes: estator y rotor. En el primero se encuentran los polos del imán que se encargan de crear un campo magnético constante, mientras el segundo es la parte móvil del motor que contiene un devanado (conjunto de espiras, cables conductores de corriente continua) y un núcleo [44, 45].

ii. Motor paso a paso

Es un dispositivo, mostrado en la figura 2.14, que puede ser manejado permitiendo un giro rápido y ser arrancado o detenido en posiciones controladas, es decir, su uso se dará si se requiere posicionamientos precisos, donde se necesite controlar la posición. La característica principal de este motor es la posibilidad de rotar su eje en un determinado intervalo de grados por cada pulso aplicado pudiendo ser un paso de 1.8 hasta 90° [44].

En el dispositivo que entrega caramelos por medio de un juego (sección 2.1.3), se usa un motor paso a paso debido a su precisión y alto torque [11]. Además, se utilizó unas poleas para aumentar el rango de fuerza.



Figura 2.14. Motor paso a paso [46].

iii. Servomotor

Es un dispositivo capaz de posicionarse en cualquier posición angular dentro de un intervalo de operación. Los equipos encargados de dispensar alimentos para perros [9] y, por otro lado, peces [13] utilizan un servomotor, mostrado en la figura 2.15, que se encarga de girar el envase donde se encuentran los alimentos.



Figura 2.15. Servomotor [48].

2.2.7. Tecnologías de comunicación inalámbrica

Existen diferentes tecnologías que permiten la comunicación inalámbrica entre dos o más dispositivos. El uso de estas varía de acuerdo a la distancia máxima de comunicación, velocidad de transmisión, fiabilidad, entre otros. Además, también se cuenta con shields que permiten lograr este enlace. Las placas *shields* son extensiones de circuitos modulares que otorgan una funcionalidad adicional, mayores capacidades y ampliación de hardware, esto a consecuencia de ser integradas al controlador. En este caso, se detallará aquellas que conceden este tipo de comunicación.

i. Bluetooth

Esta tecnología usa ondas de radio en lugar de cables para conectar un móvil u ordenador. Presenta el inconveniente de que el alcance máximo para la recepción es de pocos metros, por lo que su uso será óptimo con ciertas consideraciones, es decir a cortas distancias [49].

ii. Wi-Fi

Tecnología inalámbrica utilizada en los servicios de Internet. Se cuenta con shields (ESP8266) que son capaces de operar sin contar con un controlador debido a que también posee puertos GPIO¹ con la diferencia de que se añade la capacidad de comunicación Wi-Fi [52]. El equipo que cuenta con un Raspberry Pi hace uso de esta tecnología mediante el uso de Twitter [14].

iii. Servicio de mensajes cortos (SMS)

El término SMS se refiere a un método de comunicación que permite enviar mensajes de texto entre celulares, computadoras y dispositivos móviles a través de redes inalámbricas. Proporciona una conexión al controlador vía radio (GPRS), usando una tarjeta SIM. Además, cuenta con la posibilidad de agregarle funcionalidades tales como llamadas, añadiendo un micrófono y altavoz [53].

Shield GSM

Esta placa *shield* es usada en el dispensador de boletos de bus ubicado en Australia [7, 8]. Se encarga de enviar un email cuando la máquina llega a su capacidad máxima de almacenamiento.

iv. Radiofrecuencia

La comunicación por radiofrecuencia usa ondas electromagnéticas cuya frecuencia se encuentra entre 30 KHz y 300 GHz [54].

NRF24L01

Es un módulo transceptor, mostrado en la figura 2.16, ya que puede usarse como emisor o receptor. Opera en la banda de 2.4 GHz. La información a transmitir puede ser configurada a diferentes velocidades: 250 Kbps, 1 ó 2 Mbps.

¹ General-purpose input/output



Figura 2.16. NRF24L01 [57].

NRF24L01+PA+LNA

Se trata del mismo módulo NRF24L01 con la diferencia de que posee un circuito amplificador de potencia (PA), un circuito amplificador de bajo ruido (LNA), y una antena externa SMA como se aprecia en la figura 2.17, que teóricamente le permite un alcance máximo de 1000 metros [56].



Figura 2.17. NRF24L01+PA+LNA [58].

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE DEPÓSITO DE BANDEJAS Y UTENSILIOS

En el presente capítulo se detalla el diseño del sistema que abarca las diferentes estructuras para la detección de platos de entrada y segundo, cubiertos y bandejas; el mecanismo de operación de dichas estructuras; y el diseño de los circuitos electrónicos. Además, los criterios de selección de los componentes.

3.1. Alcance

La estructura del sistema utilizada para esta tesis fue brindada por los alumnos de Proyecto Electrónico 1 del ciclo 2016-1: Jesús Salazar, Jordi Villanueva, Alejandrina Lara, Diego Rodríguez y Jesús Martínez.

Este equipo interactivo busca promover, en los comedores, que las personas depositen las bandejas, platos de entrada, de segundo y cubiertos (tenedores y cuchillos) de manera voluntaria después de su utilización a fin de crear un buen hábito de higiene. Principalmente, el producto va dirigido a las universidades ya que es en estos lugares donde se presenta un consumo diario de un gran número de menús; no obstante, puede ser usado en distintos comedores del mundo donde se requiera el uso de estos objetos como en fábricas, compañías, entre otros. Los comensales deberán depositar estos objetos en cuatro compartimientos que presenta el equipo a los que corresponde el depósito de cada elemento. Posteriormente, pulsarán un botón que ofrece la oportunidad de participar en un juego aleatorio que obsequia un chocolate.



Figura 3.1. Planta. Fuente: elaboración propia.

En el caso de los platos de entrada y segundo, el equipo cuenta con un mecanismo de apilamiento de manera vertical para cada tipo de plato, es decir, los platos de entrada se almacenan en el lado izquierdo del equipo mientras los de segundo, en el lado derecho.

Para depositar estos objetos, se introduce un plato en un orificio circular presente en la superficie del equipo, debajo de dicho orificio, se encuentra una base o plataforma rectangular donde reposará el plato. Esta cuenta con un desnivel, mostrado en la figura 3.2, que facilita el almacenamiento del plato en el centro de la plataforma.



Figura 3.2. Desnivel. Fuente: elaboración propia.

Cuando el equipo valide el almacenamiento de cada plato por medio de un sensor, dicha base descenderá hasta que dicho objeto no sea detectado. La siguiente persona que depositará sus utensilios, colocará el plato encima del depositado anteriormente y nuevamente, al validar el almacenamiento del nuevo elemento, la base rectangular volverá a descender hasta que el sensor no detecte el nuevo plato formando así un apilamiento de platos, el cual se muestra en la figura 3.3.



Figura 3.3. Apilamiento de platos de entrada. Fuente: elaboración propia.

En el caso de los cubiertos, estos serán introducidos en un orificio rectangular que está presente en la superficie del equipo, el cual se muestra en la figura 3.4. Debajo de este, se encuentra un canal por el cual caerán dichos objetos y serán detectados por un sensor ubicado debajo de la superficie del canal.



Figura 3.4. Orificio para depósito de cubiertos. Fuente: elaboración propia.

Para la lectura de las bandejas, se cuenta con una ranura rectangular presente en el lado frontal del dispositivo y es mostrada en la figura 3.5. Análogamente al caso de los cubiertos, las bandejas caerán por un canal diseñado para el almacenamiento de estos objetos y se detectarán por medio de un sensor ubicado debajo de la superficie de este canal.



Figura 3.5. Orificio para depósito de bandejas. Fuente: elaboración propia.

Al alcanzar el mayor número de platos depositados en cualquiera de ambas plataformas, el sistema notificará al comedor lo acontecido por medio de un aviso luminoso. Para lograrlo, se entabla una comunicación de radiofrecuencia. Luego, el mecanismo de apilamiento ascenderá estos objetos para mostrarlos en la superficie. Finalmente, la persona que labora en el comedor procederá a retirar los utensilios almacenados en el equipo.

3.2. Diagrama de bloques

En la figura 3.6 se muestra el diagrama de bloques que muestra la lógica de los procesos. Está constituido por el equipo que almacena los elementos: la planta, sensores, circuitos que acondicionan señales, actuador, interfaz de entrada, finales de carrera, módulos transmisores para entablar la comunicación inalámbrica, el indicador luminoso y la fuente de alimentación.

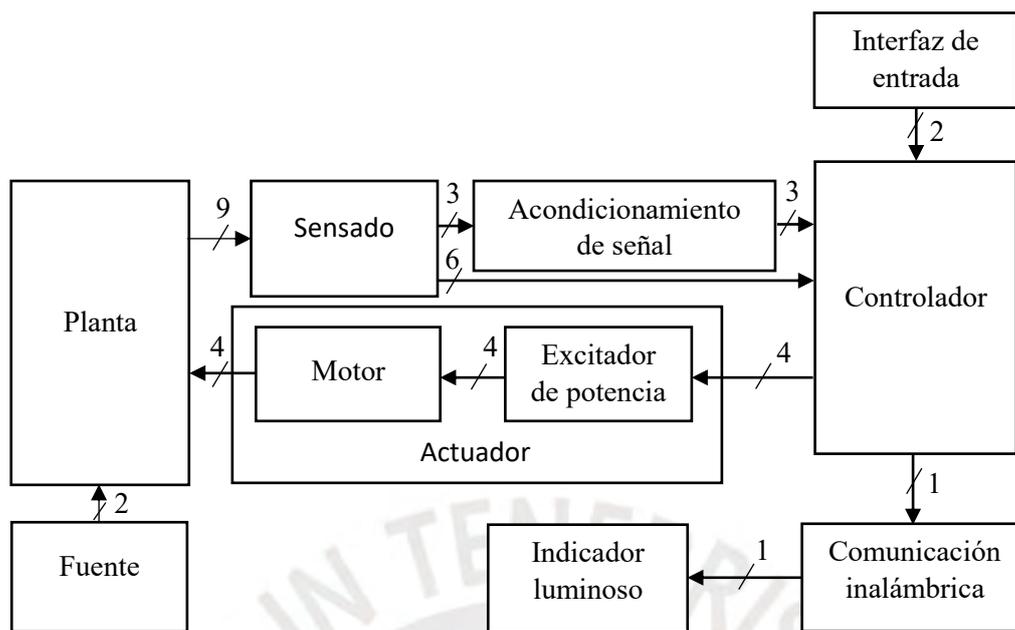


Figura 3.6. Diseño del sistema. Fuente: elaboración propia.

3.2.1. Planta

La planta es el prototipo cuyo diseño final se muestra en la figura 3.1. La planta heredada se muestra en el anexo C.

3.2.2. Sensado

En la etapa de sensado se leen 9 señales digitales. Cinco sensores, que se detalla en la tabla 3.1, y cuatro finales de carrera. Las señales de los sensores son de la lectura de los 4 elementos y dulces. Por otro lado, para delimitar el desplazamiento vertical de la estructura de apilamiento se ubican finales de carrera en la parte superior e inferior de cada estructura.

Tabla 3.1.

Sensado

Elemento	Sensor
Plato de entrada	Óptico
Plato de segundo	Óptico
Bandeja	Óptico
Cubiertos	Inductivo
Dulces	Óptico
Estructura de apilamiento	Final de carrera

Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Acondicionamiento de señal

La etapa de acondicionamiento adaptará las señales provenientes de 3 sensores para que puedan ser leídas correctamente por el controlador. Los sensores restantes (2) otorgan una señal que no necesitan acondicionarse, tampoco los finales de carrera. Esto se aprecia en la tabla 3.2.

Tabla 3.2.

Acondicionamiento de señal

Estructura	Sensor	Acondicionamiento
Lectura de platos	Óptico	Divisor de tensión
Lectura de bandejas	Óptico	No necesita
Lectura de cubiertos	Inductivo	Divisor de tensión
Lectura de dulces	Óptico	No necesita
Estructura de apilamiento	Final de carrera	No necesita

Fuente: elaboración propia.

3.2.4. Interfaz de entrada

La interfaz de entrada viene dada por dos pulsadores, lo cual se detalla en la tabla 3.3. Uno inicia el juego aleatorio mientras el otro será usado por el cocinero en caso requiera ascender los platos.

Tabla 3.3.

Interfaz de entrada

Función	Interfaz de entrada
Dar inicio al juego	Botón 1 (pulsador)
Ascender los platos hasta la superficie	Botón 2 (pulsador)

Fuente: elaboración propia.

3.2.5. Excitador de potencia

Pertenece a la etapa de accionamiento y se detalla en la tabla 3.4. Los excitadores de potencia permitirán accionar los motores mediante el controlador. Se usan cuatro actuadores donde 2 son motores DC (uno para cada sistema de apilamiento) y los 2 restantes son motores paso a paso (para la entrega de chocolate).

Tabla 3.4.

Excitador de potencia

Estructura	Motor	Drive
Apilamiento de platos	Motor DC	L298N
Entrega de chocolate	Motor paso a paso	A4988, DRV8825

Fuente: elaboración propia.

3.2.6. Motor

Pertenece a la etapa de accionamiento, la función de los motores se detalla en la tabla 3.5.

Tabla 3.5.

Motor

Función	Motor
Desplazar la estructura de apilamiento	DC
Mover y dispensar dulces	Paso a paso

Fuente: elaboración propia.

3.2.7. Comunicación inalámbrica

La tabla 3.6 muestra el propósito de aplicar una comunicación inalámbrica.

Tabla 3.6.

Comunicación inalámbrica

Función	Comunicación
Entablar una comunicación al comedor cuando sucedan eventos en la planta	Radiofrecuencia

Fuente: elaboración propia.

3.2.8. Indicador luminoso

En la tabla 3.7 se aprecia la función del indicador luminoso.

Tabla 3.7.

Indicador luminoso

Función	Indicador luminoso
Avisar cuando se alcance el máximo número de platos o cuando no haya dulces en la planta	Lámpara

Fuente: elaboración propia.

3.2.9. Controlador

En la tabla 3.8 se detalla el controlador que procesará la lógica programada.

Tabla 3.8.

Controlador

Controlador	Número de pines
Arduino MEGA 2560 R3	70

Fuente: elaboración propia.

3.2.10. Fuente de alimentación

En la tabla 3.9 se menciona qué etapas alimentará las fuentes de distintas tensiones.

Tabla 3.9.

Fuente

Fuente	Etapas energizadas
5 VDC	<ul style="list-style-type: none">- Controlador- Sensado de bandejas y dulces (sensores ópticos)- Motores paso a paso: drive A4988 y DRV8825- Comunicación inalámbrica
12 VDC	<ul style="list-style-type: none">- Motores DC: drive L298N- Motores paso a paso: drive A4988 y DRV8825- Sensado de platos: sensores ópticos- Sensado de cubiertos: sensor inductivo

Fuente: elaboración propia.

3.3. Diseño de estructuras y elección de componentes

En la figura 3.7 se aprecia un esquema que muestra las señales de entrada y salida. Es decir, el depósito, el apilamiento vertical, el inicio del juego aleatorio y la comunicación inalámbrica.

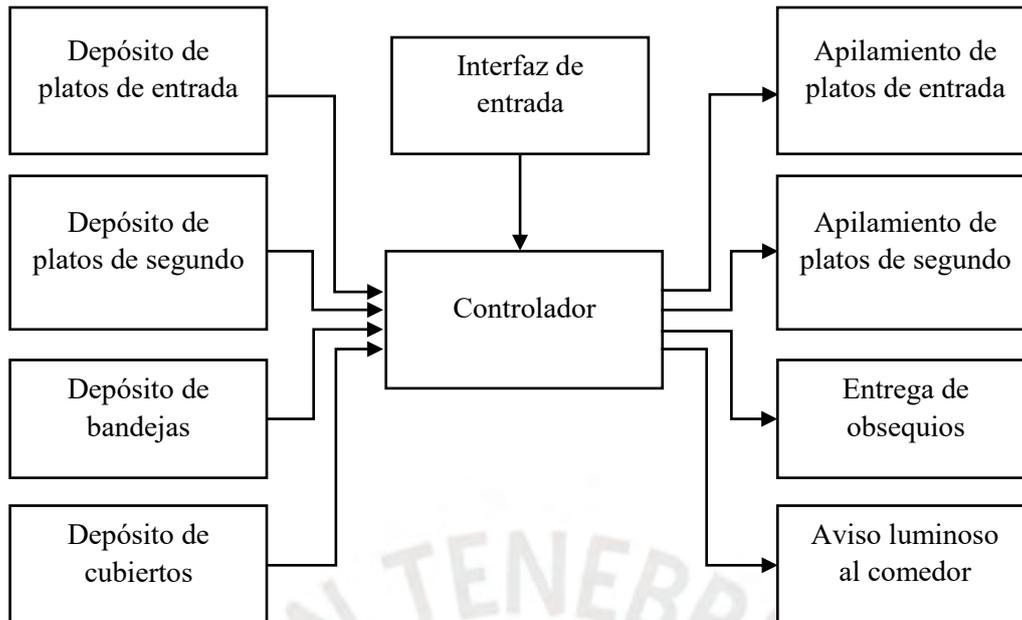


Figura 3.7. Diseño de señales de entrada y salida. Fuente: elaboración propia.

3.3.1. Estructura del mecanismo de apilamiento y lectura de platos de entrada y segundo

Los platos son aquellos usados en los comedores de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Para las comidas de entrada, estas se sirven en un plato de losa que posee un diámetro de 20.3 centímetros y cuyo peso es de 324 gramos en promedio. Para los segundos, estos se sirven en un plato del mismo material que posee un diámetro de 23.3 centímetros y cuyo peso es de 492 gramos en promedio. En síntesis, la estructura del mecanismo de apilamiento de platos de segundo y de entrada almacenarán dichos objetos uno encima de otro. Cuando se coloque un plato, este será detectado por un sensor. Al validar la detección, la plataforma base que contiene los platos descenderá de tal forma que ya no se detecte el plato depositado. Los platos se moverán descendientemente utilizando un motor y cuando la plataforma base contenga el máximo número de platos, esta ascenderá hasta la superficie del equipo.

i. Requerimientos

- Sensor que detecte un nuevo plato depositado
- Motor de corriente continua cuya función será mover los platos de manera descendente y ascendente
- El motor DC debe contar con una caja reductora a fin de otorgar un gran torque capaz de mover el máximo número de platos almacenados
- Almacenamiento máximo: 30 platos

- Peso máximo del total de platos a almacenar: 20 kilos
- Tiempo de entrega del total de platos: menor a 15 segundos

ii. Alternativas

Las alternativas de elección del sensor se muestran en la tabla 3.10.

Tabla 3.10.

Alternativas de elección del sensor para detectar platos

Alternativa	Configuración y/o característica	Alcance	Costo
Sensor capacitivo digital de proximidad	Tensión de señal de salida alto o bajo	Hasta 20 mm	Desde S/. 40.00
Sensor capacitivo analógico de proximidad	Detección de distintos materiales a la misma distancia	Hasta 8 mm	\$ 594.89
Sensor óptico	Barrera emisor-receptor. Uso de modulación NEC. Frecuencia: 38 KHz	3 metros con potencia de led emisor de 0.1 watt	Led emisor: S/. 0.50 Receptor TSOP1738: S/. 5.00
	Difuso	Hasta 4 metros	A partir de S/. 25.00
	Barrera reflectiva	Hasta 4 metros	A partir de S/. 50.00
Celda de carga	Medida de peso de cada plato	Hasta 10, 15, 20 kilos	A partir de S/. 15.00
Sensor de color TCS230	Detección de color del plato (blanco)	Hasta 20 mm	S/. 20.00

Fuente: elaboración propia.

Las alternativas de elección del motor DC se muestran en la tabla 3.11.

Tabla 3.11.

Alternativas de elección del motor DC

Motor DC	Tensión (VDC)	Torque nominal (kg-cm)	Velocidad (rpm)	Disponibilidad	Costo
Merkle-Korff S5002H	24	57.6	24	Mercado local	S/. 70.00
3120G-24F-9K24F	24	43	150	Mercado local	S/. 150.00
K6DG15N1	12	0.5 (sin caja reductora)	3000	Mercado local	\$ 130.00

Fuente: elaboración propia.

iii. Selección

Se elige el sensor infrarrojo E3F-R2N12, el cual es alimentado con 12 VDC y es mostrado en la figura 3.8. Su configuración es en barrera reflectiva y su elección es justificada en el anexo D.



Figura 3.8. Sensor E3F-R2N12.

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, para la selección del motor, en primer lugar, se desea uno de corriente continua ya que posee un costo menor respecto a un motor paso a paso que contenga gran torque, por ejemplo Nema 34; sin embargo, este último posee un precio de aproximadamente \$ 300.00. En segundo lugar, se selecciona el motor K6DG15N1, mostrado en la figura 3.9, y se integra dos cajas reductoras para reducir la velocidad y aumentar el torque. La elección de este motor es justificado en el anexo E (sexto diseño).



Figura 3.9. Motor K6DG15N1. Fuente: elaboración propia.

Para la elección de la caja reductora, se realizan los siguientes cálculos:

- Capacidad máxima de almacenamiento de platos: 30 unidades
- Peso total a mover: 20 kilos aproximadamente
- Torque del motor (T_m) = 0.5 kg-cm \leftrightarrow 0.05 N-m (hoja de datos, anexo O)
- Torque de la carga (T_l):

$$T_l = \frac{\text{Fuerza [N]} \times \text{distancia [m]}}{\text{relación de transmisión de cadenas}}$$

- Fuerza = Tensión en la cadena = 20 x 9.8 = 196 N
- Distancia = radio del piñón = $\frac{58}{2} = 29 \text{ mm} = 0.029 \text{ m}$
- Relación de transmisión de cadenas:

Se cuenta con 3 piñones de diferentes diámetros.

Diámetro piñón 1 = 52 mm

Diámetro piñón 2 = 60 mm

Diámetro piñón 3 = 58 mm

$$\text{Relación de transmisión} = \frac{1}{\frac{52 \times 60}{60 \times 58}} = 1.12$$

$$\text{Entonces, } T_l = \frac{196 \times 0.029}{1.12} = 5.075 \text{ N-m}$$

- Factor de seguridad (F_s) = 1.5
- Relación de la caja reductora a usar:

$$\frac{Tl}{Tm} \times Fs = \frac{5.075}{0.05} \times 1.5 = 101.5 \times 1.5 = 152.25$$

Se tienen las siguientes opciones, cada valor de relación está multiplicado por su eficiencia (hoja de datos, anexo O).

- Caja de 10 y 18: $10 \times 0.81 \times 18 \times 0.81 = 118.098$
- Caja de 10 y 20: $10 \times 0.81 \times 20 \times 0.73 = 118.26$
- Caja de 10 y 25: $10 \times 0.81 \times 25 \times 0.73 = 147.825$
- Caja de 10 y 30: $10 \times 0.81 \times 30 \times 0.73 = 177.39$
- Caja de 10 y 36: $10 \times 0.81 \times 36 \times 0.73 = 212.868$
- Caja de 10 y 40: $10 \times 0.81 \times 40 \times 0.73 = 236.52$

Se descartan las primeras 3 opciones debido al factor de seguridad. Podría usarse la combinación de cajas reductoras de relación 10 y 30 ya que trabajaría sin problemas. Sin embargo, el prototipo cuenta con la opción de aumentar su capacidad máxima, por ende, se elige la combinación de cajas de 10 y 36, mostradas en la figura 3.10, ya que esta podría trabajar adecuadamente con una capacidad máxima de 40 platos, por ejemplo.



Figura 3.10 (Izq.) Caja reductora K6G10BX. (Der.) Caja reductora K6G36C.

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, el motor seleccionado necesita un driver para ser operado por el controlador. Las alternativas de drivers son mostradas en la tabla 3.12.

Tabla 3.12.

Alternativas de elección del driver para motor DC

Alternativa	Corriente máxima por canal (A)	Costo (S/.)
L293N	1	10
L298N	2	12

Fuente: elaboración propia.

El motor seleccionado consume un máximo de 1.5 amperios, es por esto que se selecciona el driver L298N ya que cuenta con dos canales y cada uno admite 2 amperios como máximo. Con este driver, se controlarán dos motores DC, uno para cada apilamiento.



Figura 3.11. Mecanismo de apilamiento de platos. Fuente: elaboración propia.

La elección del diseño que se aprecia en la figura 3.11 requirió la realización de pruebas de otros diseños que serán detallados en el capítulo 4 y anexo E.

3.3.2. Estructura para la lectura de cubiertos

La estructura para detectar cubiertos es un canal por el cual se introducirán dichos objetos. Esta estructura contiene un sensor en su parte inferior cuyo lado detector se encuentra al ras de la superficie del canal.

i. Requerimientos

- Sensor inductivo ya que estos detectan material ferroso y se desea detectar solo ese tipo de material
 - Sensor digital debido a que se desea detectar la presencia o ausencia de cubiertos. Solo valores ON/OFF.
 - Sensor con longitud de diámetro similar a la del ancho del canal para una detección fiable de cubiertos.
 - Sensor con un alcance capaz de realizar una detección correcta. A mayor diámetro del sensor, mayor alcance de detección.
- Almacenamiento máximo: 60 cubiertos.

ii. Alternativas

Las alternativas son mostradas en la tabla 3.13.

Tabla 3.13.

Alternativas de elección del sensor inductivo

Alternativa	Forma	Diámetro/Alcance (milímetros)	Costo
LJ12A3-4-Z/BX	Cilíndrica	12/4	S/. 17.00
LJ30A3-15-Z/BY	Cilíndrica	30/15	S/. 29.00
E-A3TMU/4AP	Cilíndrica	30/15	\$ 50.00
NAMUR SIA 63-CE	Aro	63/63	\$ 310.00

Fuente: elaboración propia.

iii. Selección

Se eligió el sensor LJ30A3-15-Z/BY, el cual se alimenta con 12 VDC y es mostrado en la figura 3.12. Este presenta un diámetro adecuado para el ancho del canal y, por lo tanto, un alcance que satisface la lectura de cada cubierto. No se selecciona el sensor NAMUR SIA 63-CE ya que posee un precio alto a pesar de ser el ideal para este caso debido a su forma.



Figura 3.12. Sensor LJ30A3-15-Z/BY. Fuente: elaboración propia.



Figura 3.13. Estructura para la lectura de cubiertos. Fuente: elaboración propia.

La orientación de la estructura mostrada en la figura 3.13 requirió la realización de pruebas que serán detalladas en el capítulo 4 y anexo F.

3.3.3. Estructura para la lectura de bandejas

La estructura para detectar bandejas, que se aprecia en la figura 3.15, contiene una ranura de 52.5 x 4 centímetros de largo y alto respectivamente ubicada en el lado frontal del equipo por el cual se introducirán dichos objetos. Dentro de la ranura, se cuenta con un canal inclinado por el cual caerán las bandejas mostrada en la figura 3.16. Esta estructura contiene un sensor cuyo lado detector se encuentra al ras de la superficie del canal.

i. Requerimientos

- Sensor de presencia para detectar las bandejas cuando estas se depositen.
- Dicho sensor debe poseer un alcance que satisfaga la detección en dicho canal inclinado.
- Almacenamiento máximo: 30 bandejas.

ii. Alternativas

En la tabla 3.14 se muestran las alternativas.

Tabla 3.14.

Alternativas de elección del sensor para detectar bandejas

Alternativa	Modo de configuración	Alcance	Costo
Sensor capacitivo digital de proximidad	-	Hasta 20 mm	Desde S/. 40.00
Led emisor infrarrojo y fototransistor	Difuso	Regulable hasta 5 centímetros	S/. 5.00
Sensor infrarrojo cilíndrico	Emisor-receptor, barrera o difuso	Regulable hasta 4 metros	Desde S/. 25.00

Fuente: elaboración propia.

iii. Selección

Las alternativas detectarían cada bandeja depositada; sin embargo, se selecciona el led emisor infrarrojo y fototransistor, apreciado en la figura 3.14, ya que presenta un costo muy accesible. Aunque estos son sensibles a la luz solar, debido a la instalación física del sensor (debajo del canal inclinado), esta no logra alcanzar al fototransistor. El sensor se alimenta con 5 VDC.

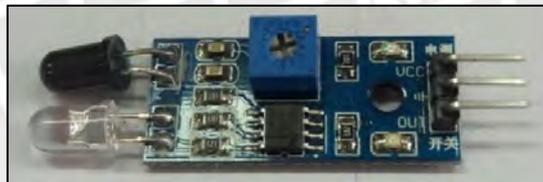


Figura 3.14. Sensor infrarrojo. Fuente: elaboración propia.



Figura 3.15. Ranura. Fuente: elaboración propia.



Figura 3.16. Estructura para la lectura de bandejas. Fuente: elaboración propia.

3.3.4. Entrega de obsequios

a. Elección de obsequio

i. Requerimiento

Se desea entregar un solo premio de manera aleatoria, ya que, diariamente, el número de consumidores es de aproximadamente 700 por comedor y no es viable abastecer al 100% de comensales debido a que significa un gasto de dinero considerable. Para elegir el obsequio se tienen las siguientes alternativas mostradas en la tabla 3.15.

ii. Alternativas

Tabla 3.15.

Alternativas de obsequio

Alternativa	Características	
Ticket de descuento del próximo menú	Uso de papel y tinta. Se desea evitarlo	Uso de una pequeña impresora
Dulce redondo de chocolate	S/. 8.50 por 120 unidades	Poca complejidad del mecanismo ya que la forma del dulce facilita el diseño de la estructura
Caramelos	S/.3.50 por 115 caramelos de limón	Complejidad en el diseño del mecanismo para entregar una unidad

Fuente: elaboración propia.

iii. Selección

Se eligió obsequiar dulces de chocolate ya que estos presentan una forma redonda como se muestra en la figura 3.17, lo cual facilita considerablemente el diseño del mecanismo de entrega de una unidad. Además, posee un precio cómodo.



Figura 3.17. Dulces de chocolate. Fuente: elaboración propia.

b. Estructura y mecanismo de entrega de chocolate

A fin de almacenar el mayor número de chocolates posible y evitar la recarga continua de estos dulces, se implementaron distintos diseños, los cuales presentaron inconvenientes descartándolos hasta encontrar uno que satisfaga lo requerido. En el anexo G se explica cada diseño realizado y los problemas presentados.

El diseño final, que se aprecia en la figura 3.22, contiene una plataforma, mostrada en la figura 3.18, en donde reposan los dulces. Esta va inclinada a fin de que los dulces puedan situarse en un extremo. Además, presenta un orificio rectangular por donde caen los dulces. Debajo de esta plataforma, se encuentra un pequeño motor cuya función es expulsar los dulces por dicho orificio a la vez que los mueve mediante una canaleta para evitar que se atasquen en el extremo de la plataforma. También contiene un tope, que se aprecia en la figura 3.19, con la finalidad de que los dulces no sean expulsados demasiado lejos.



Figura 3.18. Plataforma de dulces. Fuente: elaboración propia.



Figura 3.19. Tope. Fuente: elaboración propia.

Al suceder esto, los dulces caen en otra plataforma, la cual incluye un pequeño embudo y debajo, un disco que posee 4 orificios tal como se aprecia en la figura 3.20 y 3.21. El disco está ubicado en el eje de otro motor cuyo propósito es rotar el dulce 90° para dejarlo caer por un orificio que conecta al canal por el cual el usuario recogerá el premio.



Figura 3.20. Embudo y disco. Fuente: elaboración propia.



Figura 3.21. Disco y canal. Fuente: elaboración propia.

En resumen, inicialmente los dulces reposan sobre la plataforma. Luego, son expulsados hacia el embudo reposando en un orificio del disco apilándose uno encima de otro. Debajo de este, hay un sensor que valida la presencia del dulce. Al hacer esto, el disco gira 90° en sentido horario y entrega el dulce. Cuando ya no haya más dulces en el embudo, es decir, el sensor no detecta ningún chocolate, el motor de la plataforma se encarga de expulsar los dulces desde la plataforma hacia el embudo. Si en 5 segundos, no cae ningún dulce, el sistema avisa al comedor lo acontecido mediante un aviso luminoso.



Figura 3.22. Estructura y mecanismo de entrega de chocolate. Fuente: elaboración propia.

i. Requerimientos

- Objeto circular de 12 centímetros de diámetro y con una altura de 1.6 centímetros. Este debe contener cuatro hoyos de 2 centímetros de diámetro en 0° , 90° , 180° y 270° . También un hoyo en su centro a fin de que encaje con el eje del motor
- Motores DC cuyos ejes giren con alta precisión
- Drivers que controlen los motores
- Sensor de proximidad
- Plataforma cuya inclinación permita la entrega de dulces
- Embudo pequeño
- Canal de entrega de chocolate.

ii. Alternativas

En la tabla 3.16 se muestran las alternativas.

Tabla 3.16.

Alternativas de elección del actuador

Alternativa	Precisión	Costo
Motor paso a paso	Por ángulo (0 a 360°)	Desde S/. 12.00
Servomotor	Por ángulo (0 a 180°)	Desde S/. 5.00
Motor DC	Por tiempo	Desde S/. 5.00

Fuente: elaboración propia.

iii. Selección

Se selecciona un motor paso a paso tanto para dispensar el dulce desde la plataforma al embudo como para mover el disco ya que estos otorgan una alta precisión al rotar su eje de 0 a 360°. Además, poseen el torque suficiente para mover los dulces y el disco.

El motor mostrado en la figura 3.23 es el encargado de mover los dulces para que estos caigan al embudo.



Figura 3.23. Motor paso a paso KH42JM2B237A. Fuente: elaboración propia.

Este componente es heredado de Proyecto Electrónico 1 y cuenta con 0.8 amperios de corriente nominal y 1.8°/paso. Por otro lado, el motor mostrado en la figura 3.24 se encarga de mover el disco para entregar el dulce al usuario. Este motor cuenta con 2.7 amperios de corriente nominal y 0.9°/paso. Esto debido a que, se necesitaba un motor que soporte mayor corriente y torque que el motor de la figura 3.23. Esto era necesario para realizar pruebas con los diseños anteriores de la estructura y también por disponibilidad en el mercado local.



Figura 3.24. Motor paso a paso JK57HM41-2804 [63].

Las alternativas de drivers para controlar dichos motores se presentan en la tabla 3.17.

Tabla 3.17.

Alternativas de elección del driver para motor paso a paso

Alternativa	Pines requeridos del controlador	Corriente máxima proporcionada (A)	Costo (S/.)
ULN2003AN	4	0.5 por cada pin	0.50
A4988	2	1 amperio por bobina sin disipador	12
DRV8825	2	1.5 amperios por bobina	17

Fuente: elaboración propia.

Se selecciona el driver A4988 debido a que solo necesita dos pines del controlador para controlar un motor paso a paso unipolar o bipolar. Además, contiene un potenciómetro mediante el cual se regula la corriente suministrada al motor. Lo mismo sucede con el driver DRV8825, la diferencia es que soporta una corriente mayor.

Para controlar el motor KH42JM2B237A, se elige el driver A4988 ya que el motor consume menos de 1 amperio. Por otro lado, para controlar el motor JK57HM41-2804, se elige el driver DRV8825 ya que puede consumir hasta 1.5 amperios y debe mover el apilamiento de dulces formado en el embudo.

La elección del sensor viene a ser idéntico a la tabla 3.14, de la estructura de lectura de bandejas. Por lo tanto, se usa el sensor infrarrojo de la figura 3.16.

3.4. Indicador luminoso

i. Requerimientos

- Se desea entablar una comunicación entre el equipo recolector y un receptor ubicado en el comedero.

- La distancia no será mayor a 20 metros.

ii. Alternativas

Las alternativas se muestran en la tabla 3.18.

Tabla 3.18.

Alternativas de elección de tipo de comunicación

Alternativa	Características		
Cableado	Tediosa instalación en lugares concurridos	Pérdida de datos	Disminución de la amplitud de la señal
Inalámbrico	No requiere cables	Datos recibidos correctamente	Largo alcance

Fuente: elaboración propia.

Se eligió la comunicación inalámbrica ya que evita el tedioso trabajo de conectar cables entre dos puntos que se encuentran a varios metros y más aún en un comedor, donde las personas transitan a menudo.

Se cuentan con las siguientes opciones, mostradas en la tabla 3.19, para entablar una comunicación inalámbrica.

Tabla 3.19.

Alternativas de elección de la comunicación inalámbrica

Alternativa	Módulo	Consumo de corriente	Alcance (metros)	Costo
Bluetooth	HC-05	Bajo. Puede ser suministrada por un controlador.	6	S/. 23.00
Radiofrecuencia	NRF24L01	Bajo. Puede alimentarse de los 3.3 VDC del controlador.	100	S/. 10.00
	NRF24L01+PA+LNA	Requiere fuente de alimentación externa	1 000	S/. 24.00
	RFM69W		500 a más	\$ 3.90
Wi-Fi	ESP8266		20	S/. 20.00

Fuente: elaboración propia.

Además, se tienen las siguientes opciones para el aviso luminoso y se muestra en la tabla 3.20.

Tabla 3.20. Alternativas de elección del indicador luminoso.

Alternativa	Características
Lámpara 220 VAC	Uso de corriente alterna
Lámpara 12 VDC	Uso de fuente de 12 VDC

Fuente: elaboración propia.

iii. Selección

Se selecciona transmitir información por radiofrecuencia ya que, en primer lugar, el alcance de los módulos bluetooth es muy restringido y la necesaria es mayor a la que ofrecen. En segundo lugar, para usar la tecnología Wi-Fi, se necesita un modem. Lo ideal es que el equipo funcione independientemente ya que si se encuentra en un lugar donde no haya conexión Wi-Fi, el equipo no funcionaría en su totalidad. Es por eso que se desea que el dispositivo diseñado en esta tesis pueda funcionar en cualquier comedor del mundo sea en fábricas, compañías, colegios, etcétera.

Dentro de la tecnología de radiofrecuencia, se presentan distintos módulos. Se selecciona el NRF24L01+PA+NLA ya que ofrece un alcance mayor respecto a su versión simple (NRF24L01). Por otro lado, el RFM69W no se encuentra disponible en el mercado local.

Finalmente, se desea operar el indicador luminoso en dos modos: prendido e intermitente. Se selecciona la lámpara de 12 VDC, el sustento se detalla en el capítulo 4 ya que se llega a esta elección mediante pruebas.

3.5. Controlador

i. Requerimientos

- Número de pines de entradas/salidas igual o mayor al que se necesita (24).
- No es necesario un controlador con mayores capacidades como, por ejemplo, el procesamiento de imágenes porque basta con uno capaz de procesar la lógica programada basada en entradas y salidas digitales.
- Capacidad de grabar el código a ejecutar sin la necesidad de un quemador externo.

ii. Alternativas

Las alternativas son apreciadas en la tabla 3.21.

Tabla 3.21.

Alternativas de elección del controlador

Alternativa	Características	Costo
Arduino Nano	14 pines digitales, 6 analógicos	S/. 18
Arduino UNO R3	14 pines digitales, 6 analógicos	S/. 45.00
Arduino MEGA 2560	54 pines digitales, 16 analógicos	S/. 70.00
Raspberry Pi	Ideal para aplicaciones que requieran procesamiento de mayor complejidad	S/. 350.00

Fuente: elaboración propia.

iii. Selección

Para el prototipo (planta), se eligió la placa Arduino MEGA ya que contiene una cantidad mayor de pines digitales que requiere esta tesis: 24. Además, es heredada de Proyecto Electrónico 1 y se desea contar con pines de entrada/salida libres para mejoras que podría haber en un futuro. Por ejemplo, colocar una pantalla LCD, diodos leds, sensores, entre otros.

El controlador es alimentado con 5 VDC. Debido a esto, es necesario acondicionar las señales proporcionadas por los sensores que detectan platos y cubiertos ya que estos se alimentan con 12 VDC. Dicho acondicionamiento es un divisor de tensión, mostrado en la figura 3.25. Además, se seleccionan los resistores de 47K y 33K ohmios.

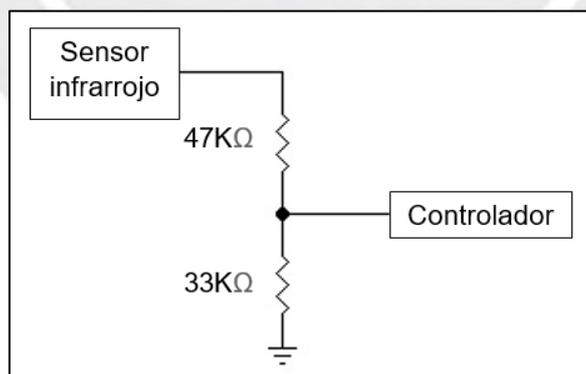


Figura 3.25. Divisor de tensión. Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, para el receptor ubicado en el comedor, se selecciona el Arduino Nano ya que funciona adecuadamente con el nRF24L01+PA+LNA. Además, se requiere solo 1 salida digital para el aviso luminoso. Por lo tanto, con el Arduino Nano es suficiente.

Finalmente, tanto para el prototipo y el receptor, se integra un adaptador al módulo de radiofrecuencia. Dicho adaptador, el cual se muestra en la figura 3.26, se alimenta con 5 VDC.

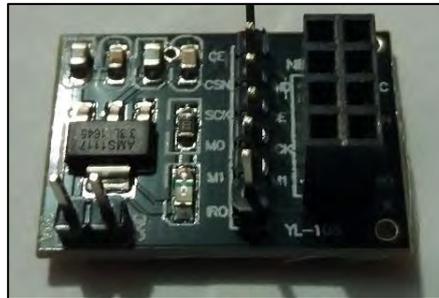


Figura 3.26. Adaptador para el NRF24L01. Fuente: elaboración propia.

3.6. Alimentación

i. Requerimientos

- Para el emisor: fuente de 5 VDC, 0.6 A; 12 VDC, 3A
- Para el receptor: fuente de 5 VDC, 0.7 A; 12 VDC, 1 A

ii. Alternativas

Las alternativas son mostradas en la tabla 3.22.

Tabla 3.22.

Alternativas de elección de fuente de alimentación

Alternativa	Tensión (VDC)	Corriente (A)	Costo (S/.)
Fuente	5	0.6, 0.7, 1	20
Fuente	12	1, 3	30
Adaptador convertidor DC	7.5	1.5	15

Fuente: elaboración propia.

iii. Selección

Para el equipo que almacena los utensilios de cubertería, se seleccionó fuentes de 5 VDC, 0.6 A y 12 VDC, 3 A. Para el receptor que contiene el indicador luminoso que notifica al comedor, se seleccionó fuentes de 5 VDC, 0.7 A y 12 VDC, 1 A.

Este fue el último componente a seleccionar ya que se debe conocer previamente el consumo total del sistema, lo cual se demuestra en el capítulo 4.

3.7. Diseño de circuitos

El sistema contiene circuitos electrónicos de control y potencia que se aprecian desde la figura 3.27 a la 3.44. Además, en las tablas 3.23 y 3.24 se resumen los componentes usados en el circuito emisor y receptor.

Tabla 3.23

Diseño del circuito del prototipo

Diseño del circuito del prototipo (emisor)	
Requerimiento	Selección
Controlador	Arduino MEGA2560
Detección de platos de entrada y segundo	Sensor infrarrojo E3F-R2N12
Detección de bandejas	Led emisor infrarrojo y fototransistor
Detección de dulces	
Detección de cubiertos	Sensor inductivo LJ30A3-15-Z/BY
Driver motor paso a paso	A4988 y DRV8825
Delimitar el desplazamiento de platos	Finales de carrera
Inicio de juego	Pulsador
Driver motor DC	L298N
Comunicación por radiofrecuencia	NRF24L01+PA+LNA
Fuente de alimentación	5 y 12 VDC

Fuente: elaboración propia.

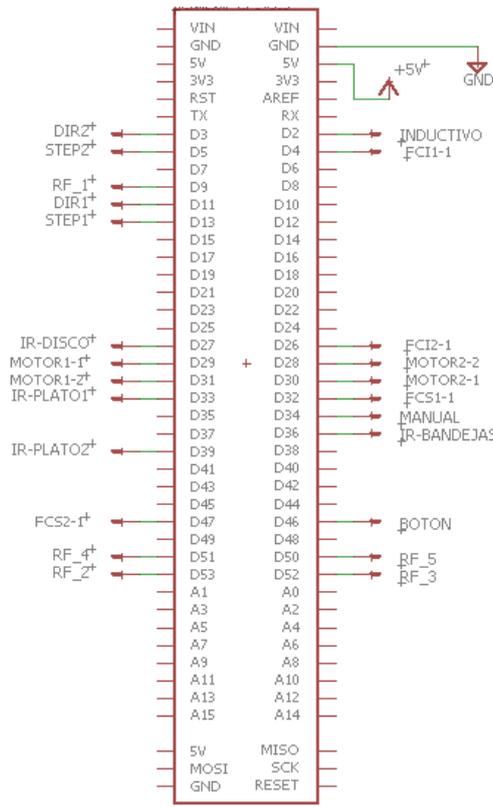


Figura 3.27. Circuito esquemático del controlador Arduino Mega. Fuente: elaboración propia.

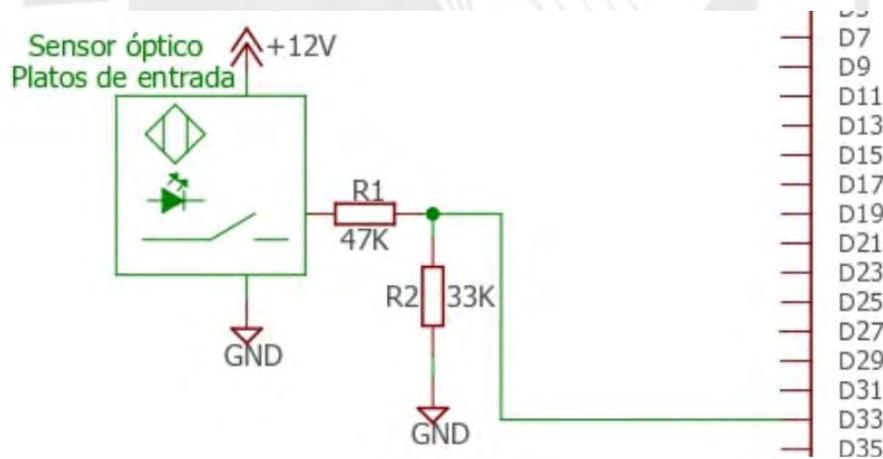


Figura 3.28. Circuito esquemático del sensor óptico que detecta platos de entrada. Fuente: elaboración propia.

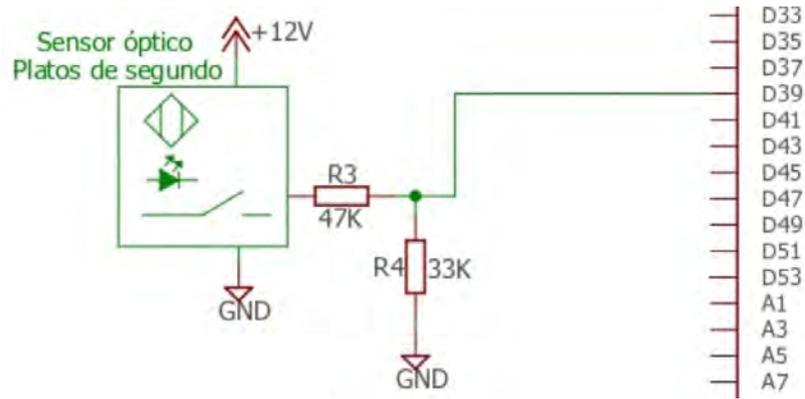


Figura 3.29. Circuito esquemático del sensor óptico que detecta platos de segundo.
Fuente: elaboración propia.

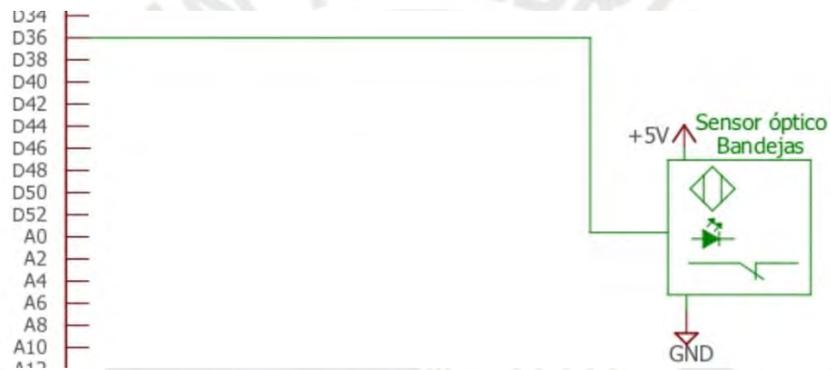


Figura 3.30. Circuito esquemático del sensor óptico que detecta bandejas.
Fuente: elaboración propia.

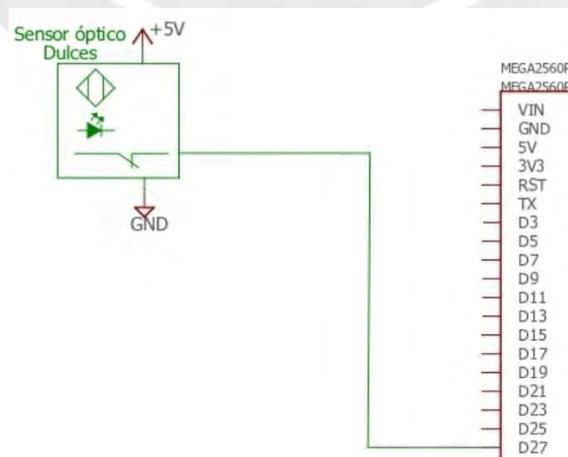


Figura 3.31. Circuito esquemático del sensor óptico que detecta dulces en el disco.
Fuente: elaboración propia.

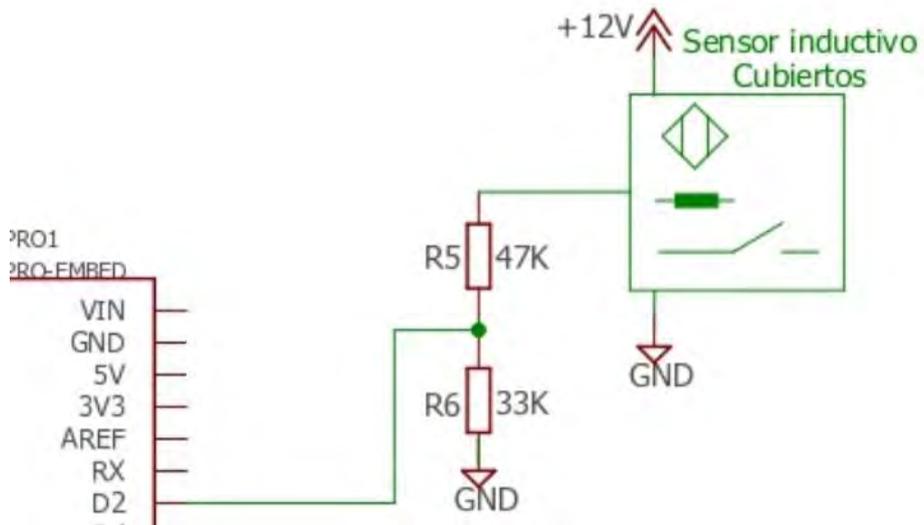


Figura 3.32. Circuito esquemático del sensor inductivo que detecta cubiertos.
Fuente: elaboración propia.

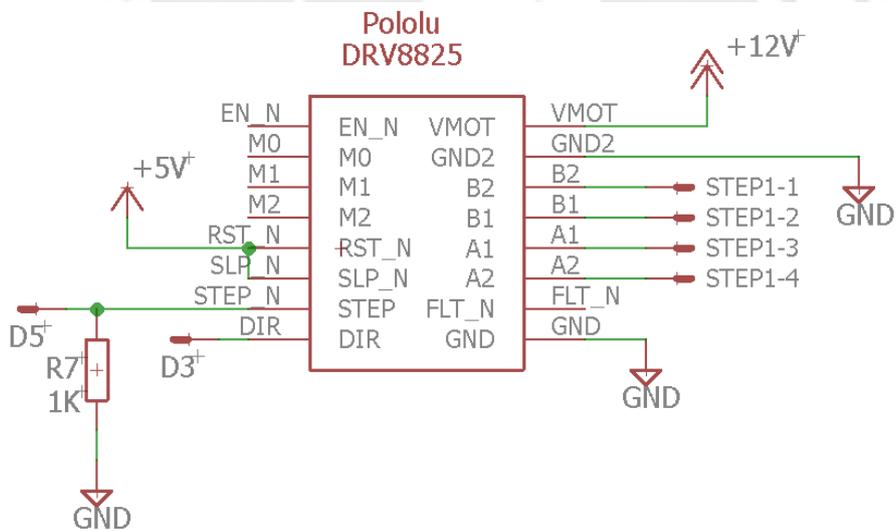


Figura 3.33. Circuito esquemático del driver del motor paso a paso 1.
Fuente: elaboración propia.

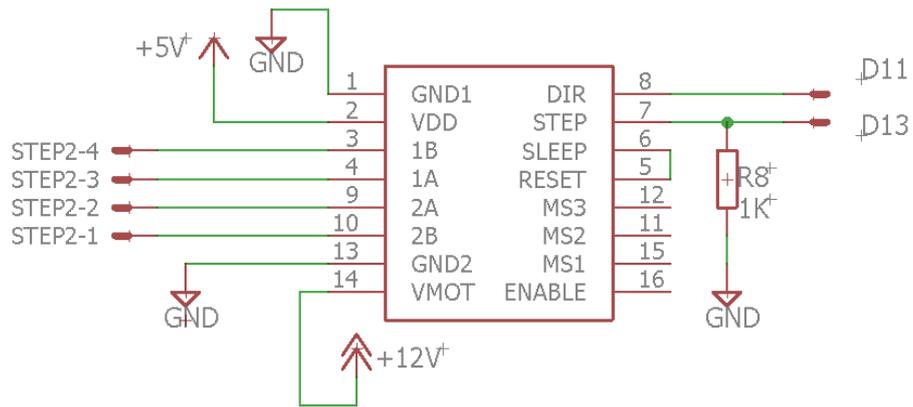


Figura 3.34. Circuito esquemático del driver del motor paso a paso 2. Fuente: elaboración propia.



Figura 3.35. Circuito esquemático del final de carrera superior, platos de entrada. El pin 32 se configura en el programa con resistencia interna de pull-up. Fuente: elaboración propia.

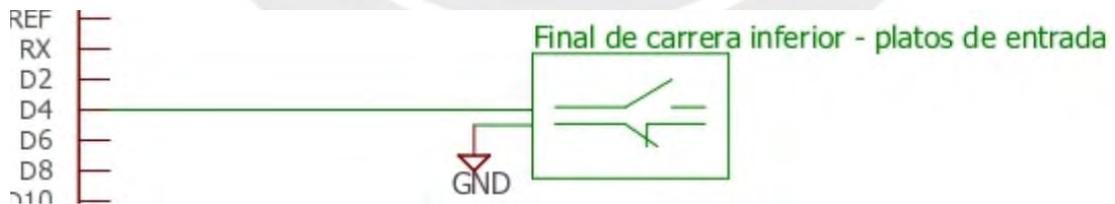


Figura 3.36. Circuito esquemático del final de carrera inferior, platos de entrada. El pin 4 se configura en el programa con resistencia interna de pull-up. Fuente: elaboración propia.

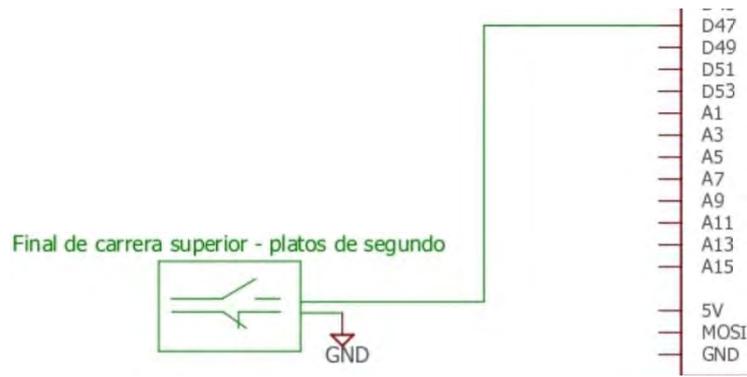


Figura 3.37. Circuito esquemático del final de carrera superior, platos de segundo. El pin 47 se configura en el programa con resistencia interna de pull-up. Fuente: elaboración propia.

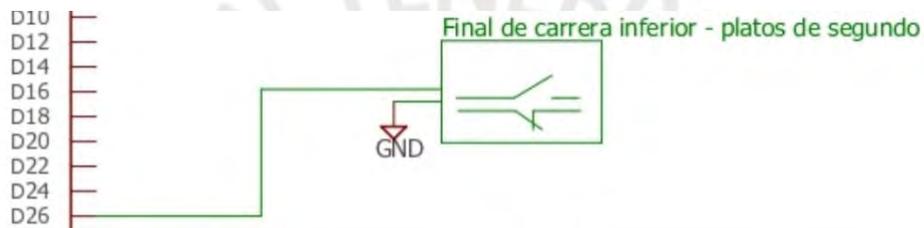


Figura 3.38. Circuito esquemático del final de carrera inferior, platos de segundo. El pin 26 se configura en el programa con resistencia interna de pull-up. Fuente: elaboración propia.



Figura 3.39. Circuito esquemático del botón que inicia el juego aleatorio. El pin 46 se configura en el programa con resistencia interna de pull-up. Fuente: elaboración propia.



Figura 3.40. Circuito esquemático del botón orientado al cocinero. El pin 34 se configura con resistencia interna de pull-up. Fuente: elaboración propia.

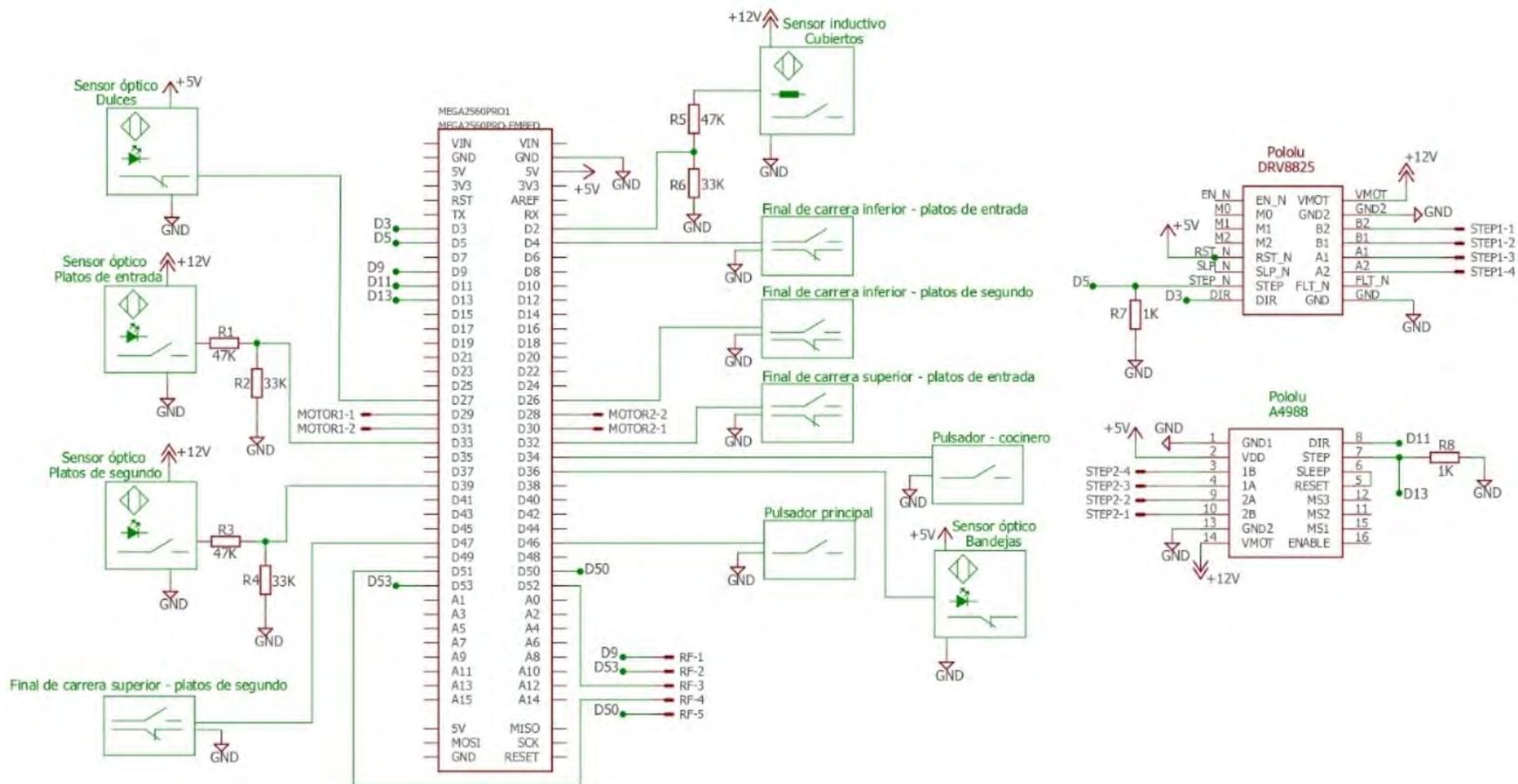


Figura 3.41. Circuito esquemático del prototipo. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.24

Diseño del circuito del receptor

Diseño del circuito del receptor	
Requerimiento	Selección
Controlador	Arduino nano
Comunicación por radiofrecuencia	NRF24L01+PA+LNA
Excitador de potencia	Relé
Indicador luminoso	Lámpara 12 VDC
Fuente de alimentación	5 y 12 VDC

Fuente: elaboración propia.

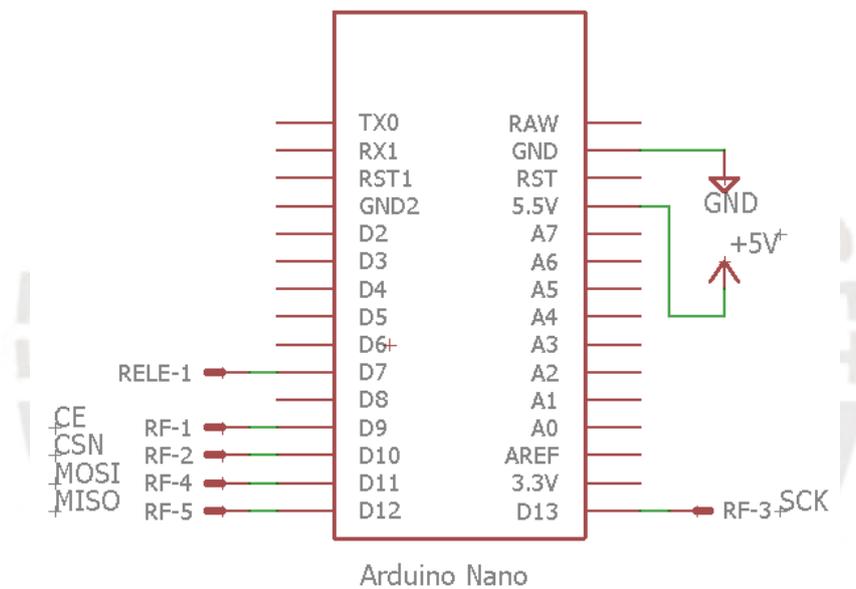


Figura 3.42. Circuito esquemático del receptor. Fuente: elaboración propia.

3.8. Diagramas de flujo

3.8.1. Planta

En las figuras 3.43, 3.44, 3.45 y 3.46 se aprecia el diagrama de flujo del programa principal.

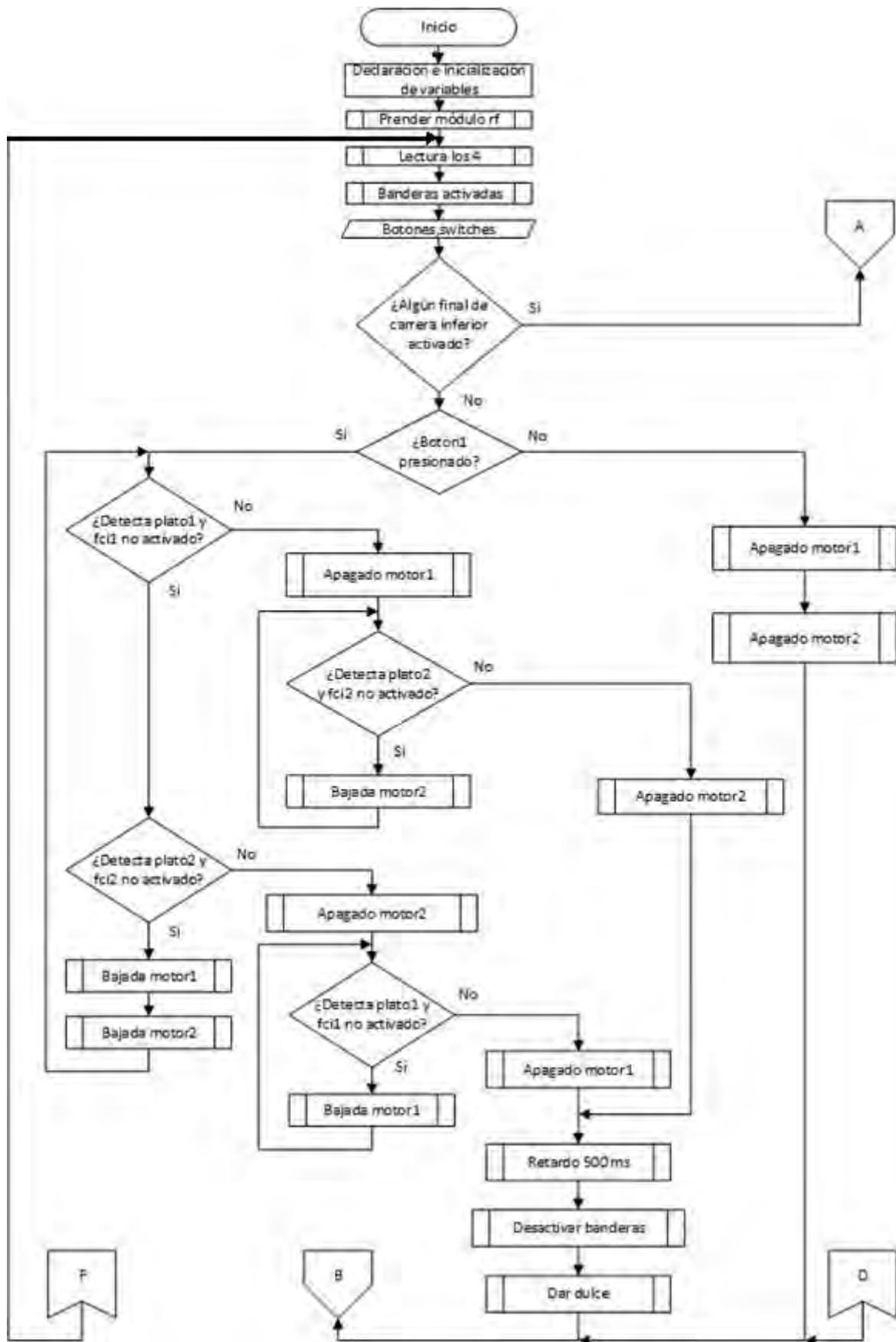


Figura 3.43. Diagrama de flujo del programa principal, parte 1. Fuente: elaboración propia.

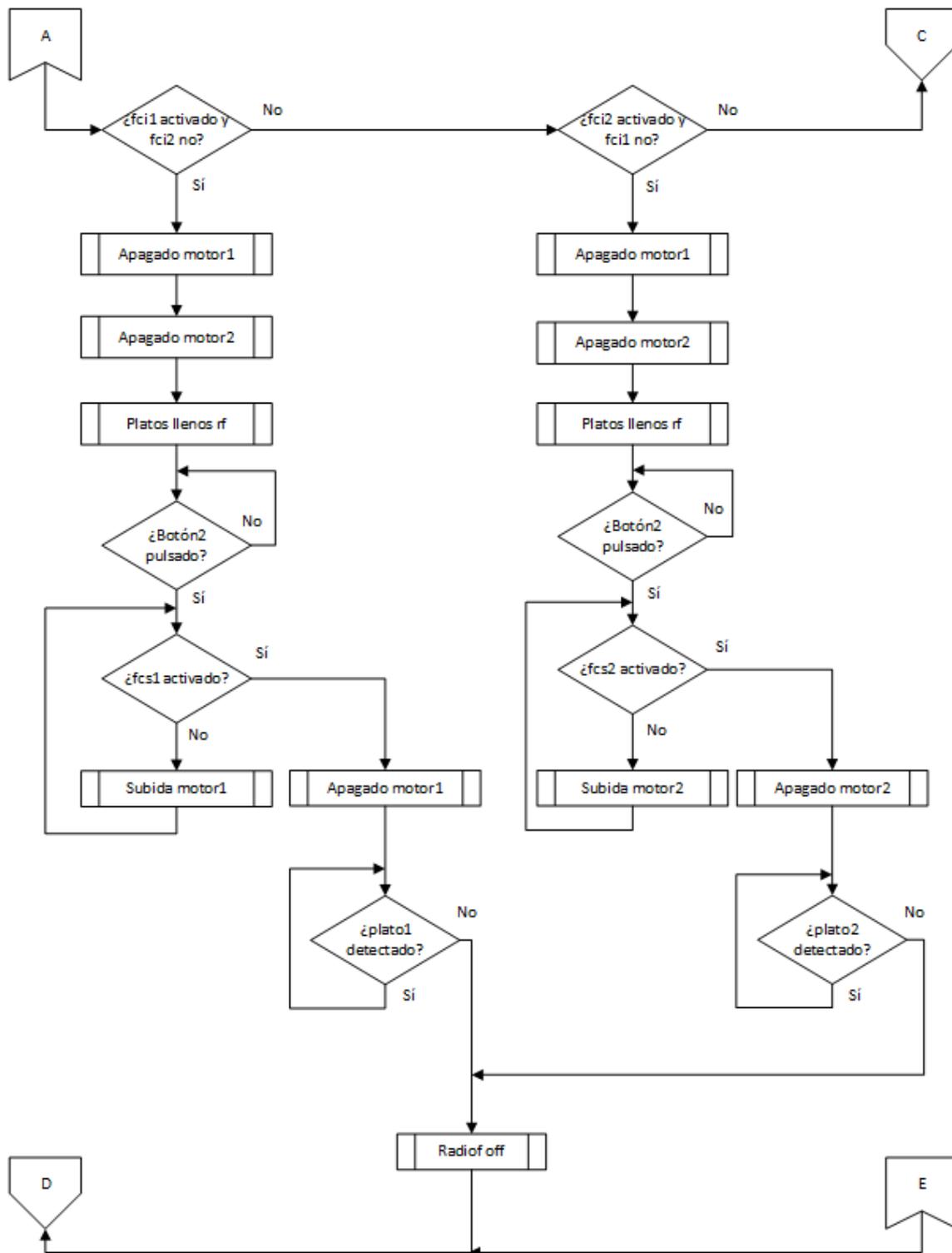


Figura 3.44. Diagrama de flujo del programa principal, parte 2. Fuente: elaboración propia.

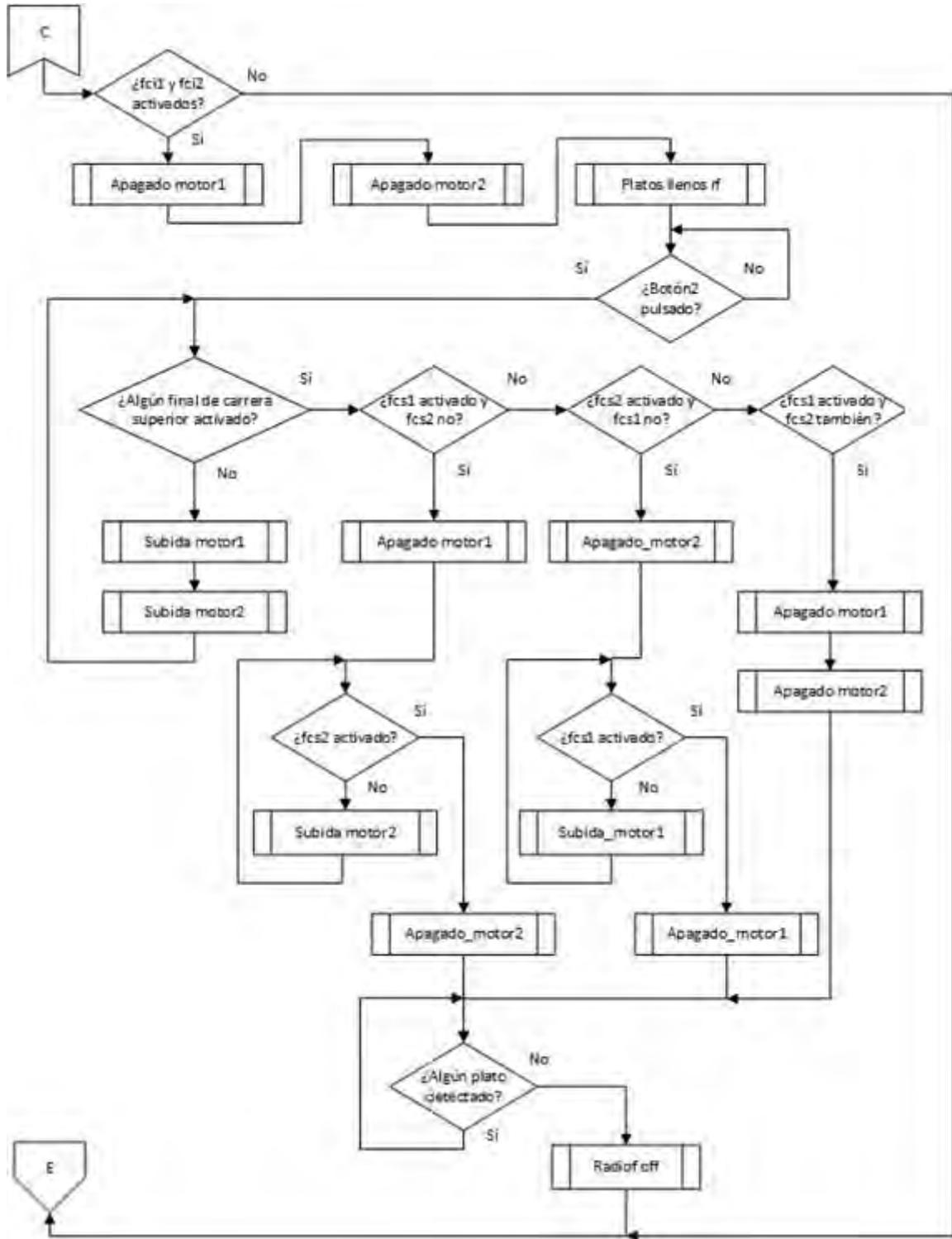


Figura 3.45. Diagrama de flujo del programa principal, parte 3. Fuente: elaboración propia.

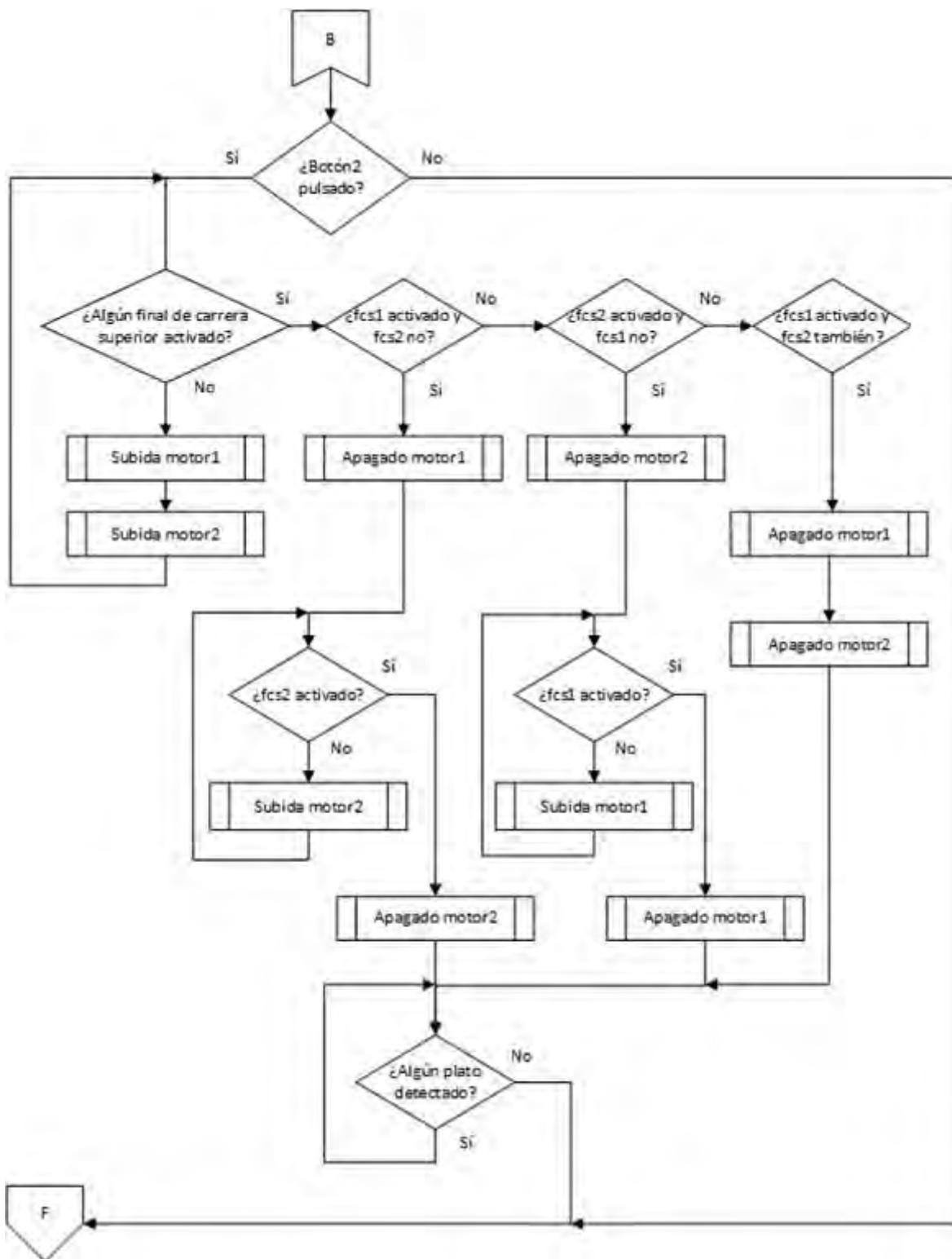


Figura 3.46. Diagrama de flujo del programa principal, parte 4. Fuente: elaboración propia.

En las siguientes figuras se aprecian los diagramas de flujo de las subrutinas más importantes.

En la figura 3.45 se muestra el de la subrutina Lectura_los_4.

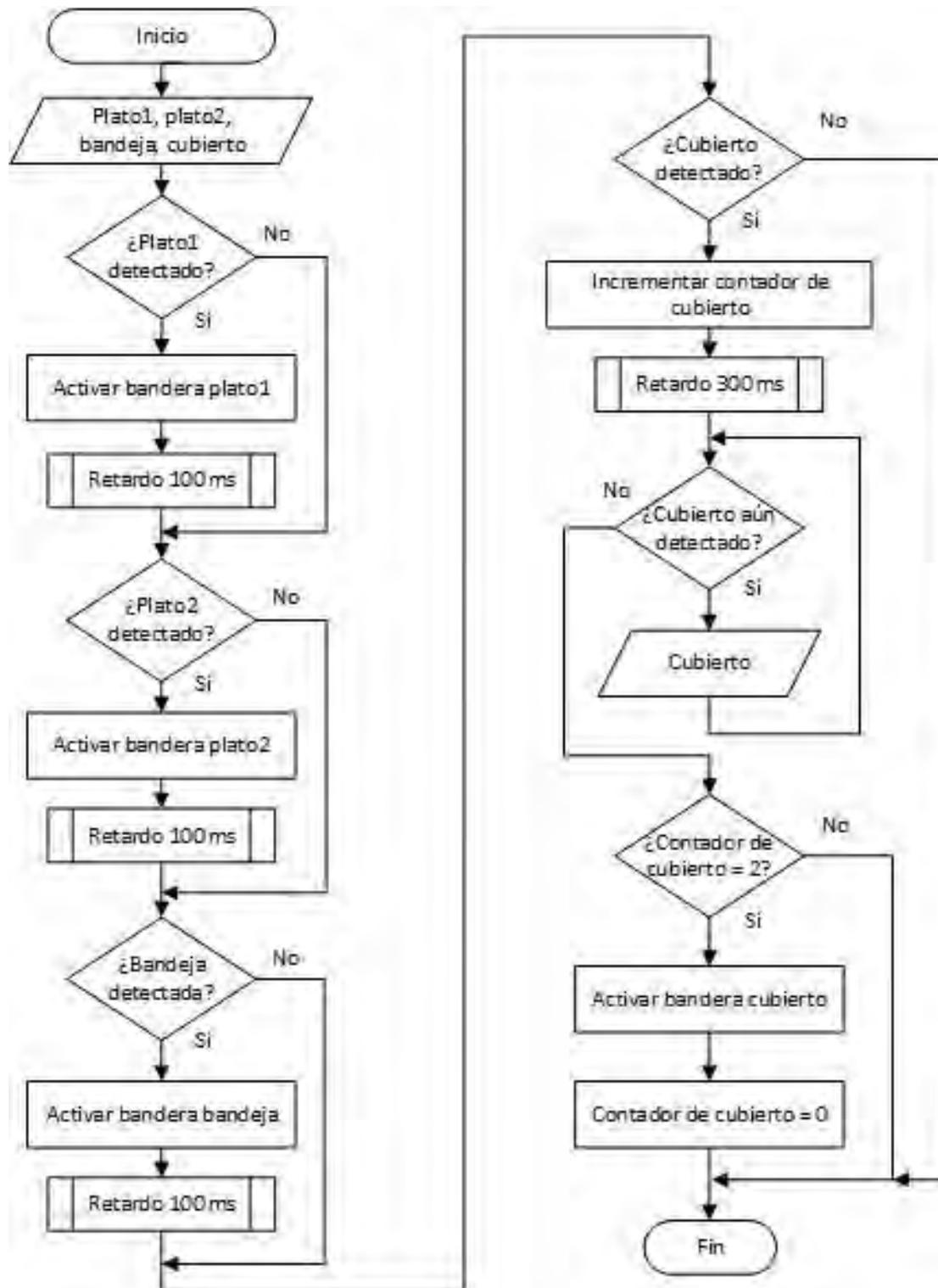


Figura 3.47. Diagrama de flujo de la subrutina Lectura_los_4. Fuente: elaboración propia.

En la figura 3.48 se muestra el de la subrutina Banderas_activadas.

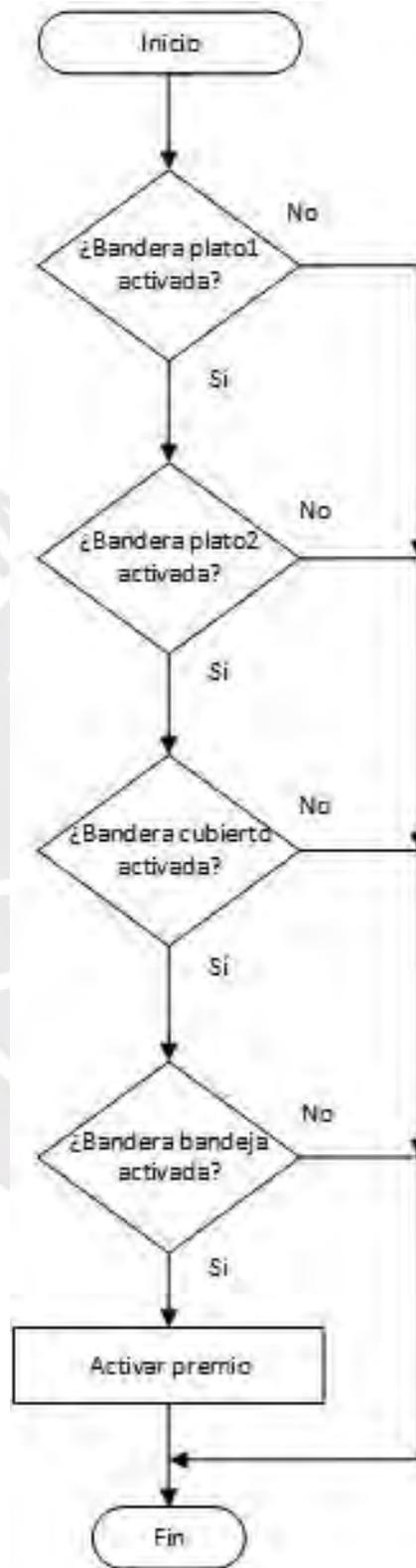


Figura 3.48. Diagrama de flujo de la subrutina Banderas_activadas. Fuente: elaboración propia.

En la figuras 3.49 y 3.50 se muestra el de la subrutina Dar_dulce.

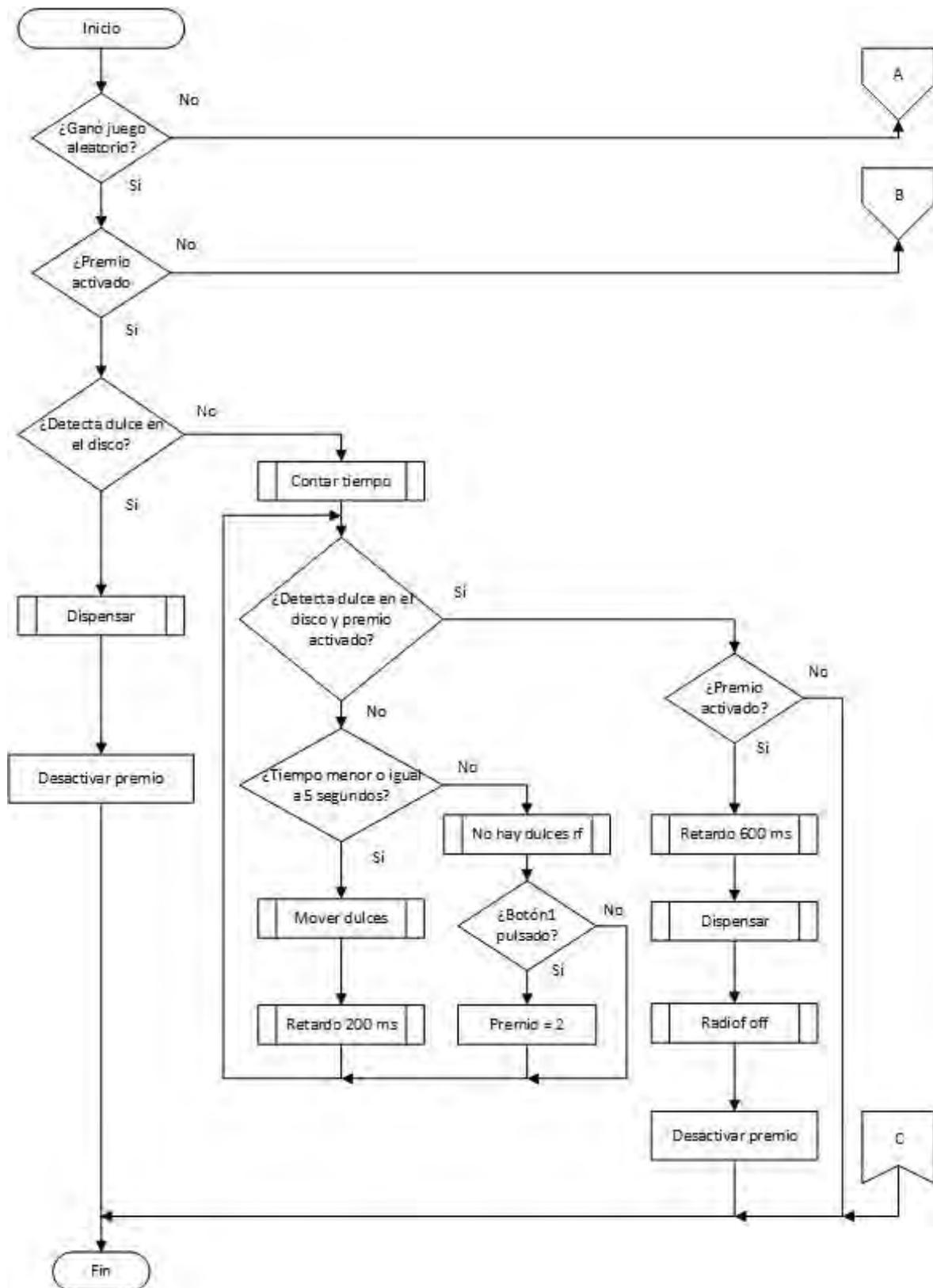


Figura 3.49. Diagrama de flujo de la subrutina Dar_dulce, parte 1. Fuente: elaboración propia.

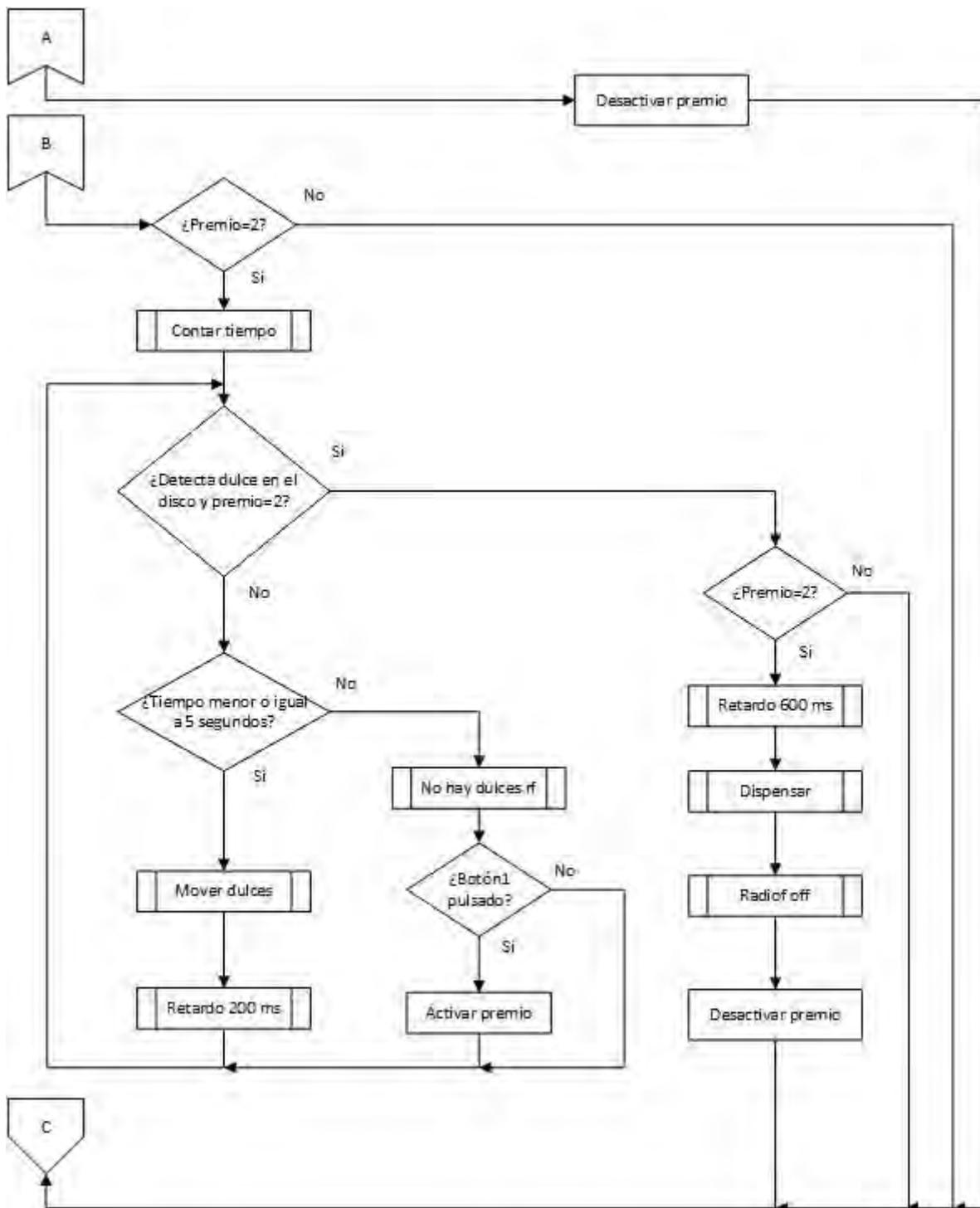


Figura 3.50. Diagrama de flujo de la subrutina Dar_dulce, parte 2. Fuente: elaboración propia.

3.8.2. Receptor

En la figura 3.51 se aprecia el diagrama de flujo del programa principal del receptor que irá ubicado en el comedor.

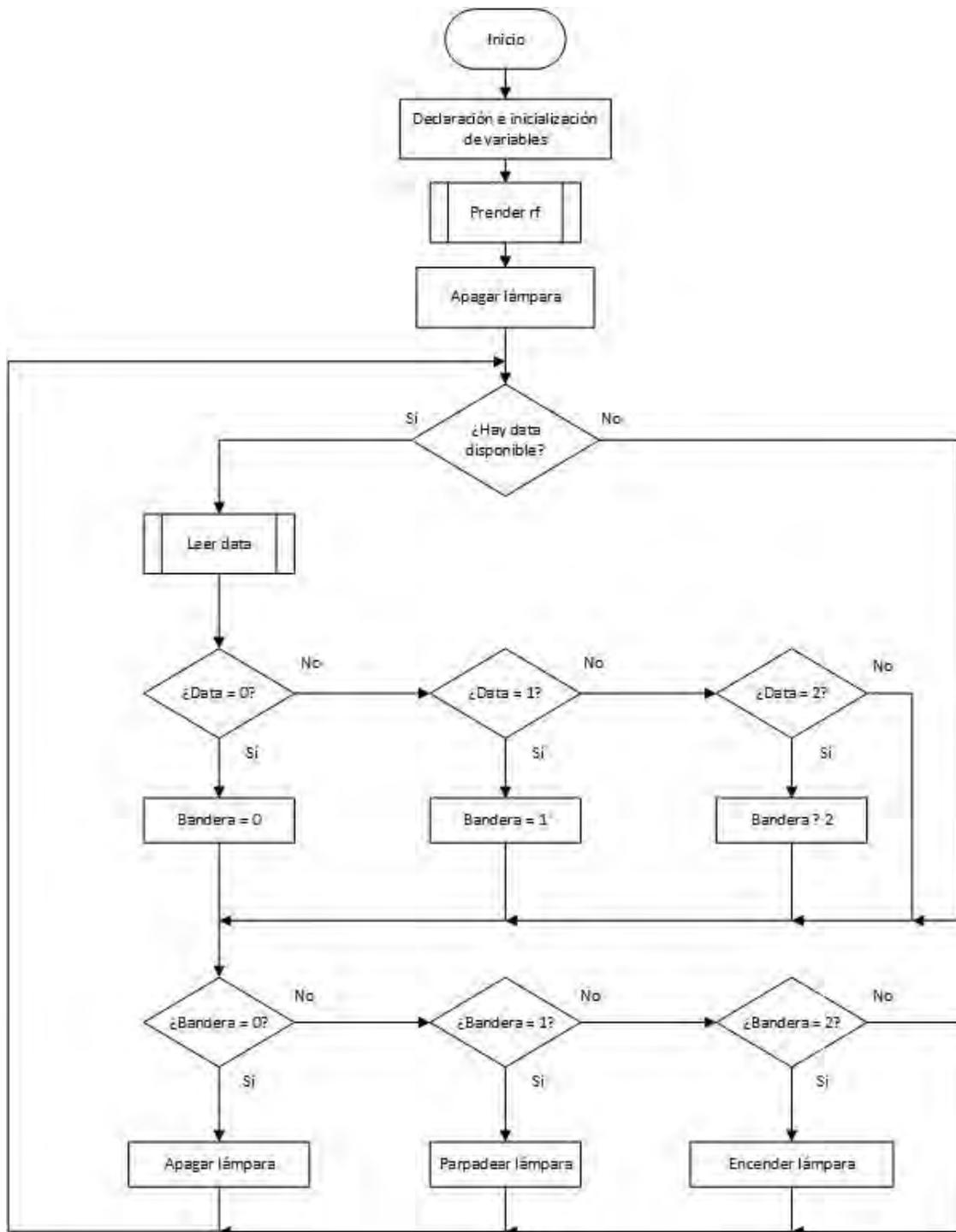


Figura 3.51. Diagrama de flujo del programa principal del receptor. Fuente: elaboración propia.

3.9. Costos

En la tabla 3.25 se aprecia la inversión detallada requerida para implementar esta tesis.

Tabla 3.25.

Costos

Estructura	Componente	Precio unitario (S/.)	Cantidad	Total (S/.)
Apilamiento de platos de entrada y segundo	Plato de segundo	2	36	72
	Plato de entrada	1.5	36	54
	Sensor infrarrojo	50	2	100
	Motor DC	400	2	800
	Cajas reductoras	60	4	240
	Barra metálica	50	1 metro	50
	Listones de maderas	15	2	30
	Engranajes	35	2	70
	Finales de carrera	5	4	20
	Rodamientos	30	8	240
	Barra de aluminio	25	2 metros	50
Detección de cubiertos	Canal	20	1	20
	Sensor inductivo	15	1	15
	Base receptora	20	1	20
Detección de bandejas	Sensor infrarrojo	5	1	5
	Bandejas	12	2	24
Entrega de dulces	Plataforma	30	1	30
	Motor paso a paso	Heredado	2	-
	Sensor infrarrojo	5	1	5
	Embudo	10	1	10
	Disco	15	1	15
	Maderas: 3 niveles	20	1	20
	Dulces	8	1 bolsa	8
Aviso luminoso	Módulo de radiofrec.	20	2	40
	Adaptador del módulo	5	2	10
	Lámpara	15	1	15
Mesa	-	180	1	180
Fuente de alimentación	12 VDC	30	2	60
	5 VDC	15	2	30
Tarjeta del prototipo	-	60	1	60

Tarjeta del receptor	-	20	1	20
Controlador	Arduino MEGA	Heredado	1	-
	Arduino Nano	18	1	18
Accesorios restantes	Cables, borneras, ángulos de aluminio, canaletas, pernos, tornillos, melamina, carpintería, pintura, botones, entre otros.	400	-	400
				S/. 2731

Fuente: elaboración propia.

El costo mensual por mano de obra es S/. 3000.



CAPÍTULO 4

ENSAYOS Y RESULTADOS

El presente capítulo abarca los resultados obtenidos al realizar los siguientes ensayos:

4.1. Detección de platos

4.1.1. Prueba de apilamiento vertical

Se realizó un pequeño desnivel circular en la base que contiene los platos a fin de que estos mantengan el apilamiento vertical y que sean colocados en el centro. Esta se muestra en la figura 4.1.

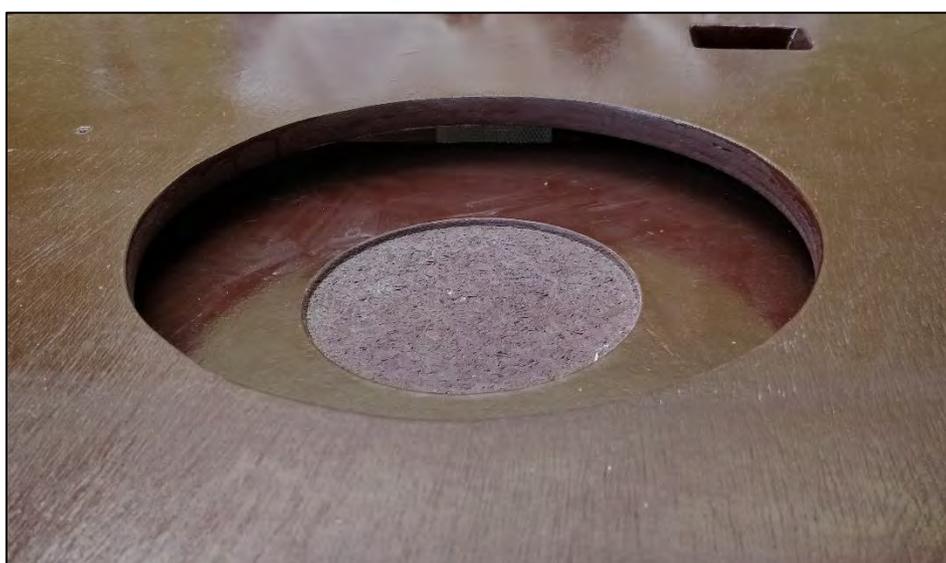


Figura 4.1. Desnivel circular. Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Prueba de desplazamiento vertical

Se usan los contactos normalmente abierto de cada final de carrera, mostrados en la figura 4.2 y 4.3.



Figura 4.2. Final de carrera superior. Fuente: elaboración propia.



Figura 4.3. Final de carrera inferior. Fuente: elaboración propia.

4.1.3. Lectura de platos

El sensor infrarrojo tiene una tensión de salida de 11.94 VDC al detectar un plato, entonces la tensión en el pin de entrada del controlador es de 4.93 VDC, lo cual está dentro del rango admitido como 1 lógico. Esto representa la presencia de un plato. Por otro lado, cuando este elemento se encuentre ausente, la señal de salida del sensor infrarrojo será 0.69 VDC y en el pin del controlador, 0.28 VDC. Este sensor se instaló con un espejo reflector debajo de la superficie superior del equipo como se aprecia en la figura 4.4.



Figura 4.4. Instalación del sensor infrarrojo. Fuente: elaboración propia.

4.1.4. Prueba de corriente consumida de motor DC

Motor K6DG15N1 con cajas reductoras de relación 10:1 y 36:1.

Velocidad: 14 rpm

Corriente consumida en el ascenso de 30 platos de segundo: 1.4 amperios

Corriente consumida en el ascenso de 30 platos de entrada: 1.1 amperios

Corriente consumida en el ascenso de ambos apilamientos: 2.5 amperios

Entonces, la potencia eléctrica: $2.5 \times 12 = 30$ Watts.

4.2. Detección de cubiertos

4.2.1. Prueba de estructura de detección

Se diseñó esta estructura incluyendo un sensor inductivo de 30 mm de diámetro y 15 mm de alcance como se aprecia en la figura 4.5. El canal tiene un ancho de 40 mm, lo cual es adecuado para el depósito de cubiertos.

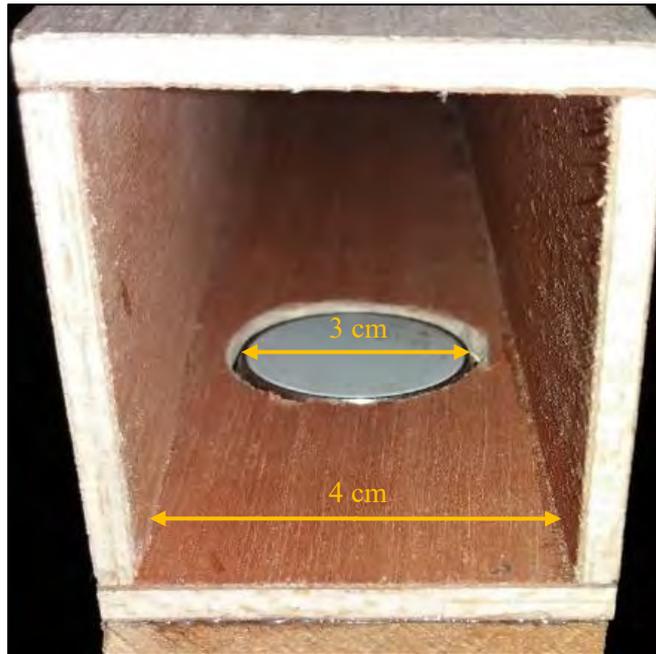


Figura 4.5. Diseño del canal con un sensor inductivo. Fuente: elaboración propia.

El comedor solo brinda tenedores y cuchillos; sin embargo, los cubiertos utilizados en los ensayos fueron un tenedor, un cuchillo, una cuchara de tamaño standard y una cuchara pequeña. Mediante un osciloscopio, se logró apreciar la señal de salida del sensor inductivo al detectar dichos cubiertos. La elección de la orientación de 54° del canal mostrado en la figura 4.6 requirió ciertas pruebas que son detalladas en el anexo F, así como también por qué no se mantuvo el diseño heredado.

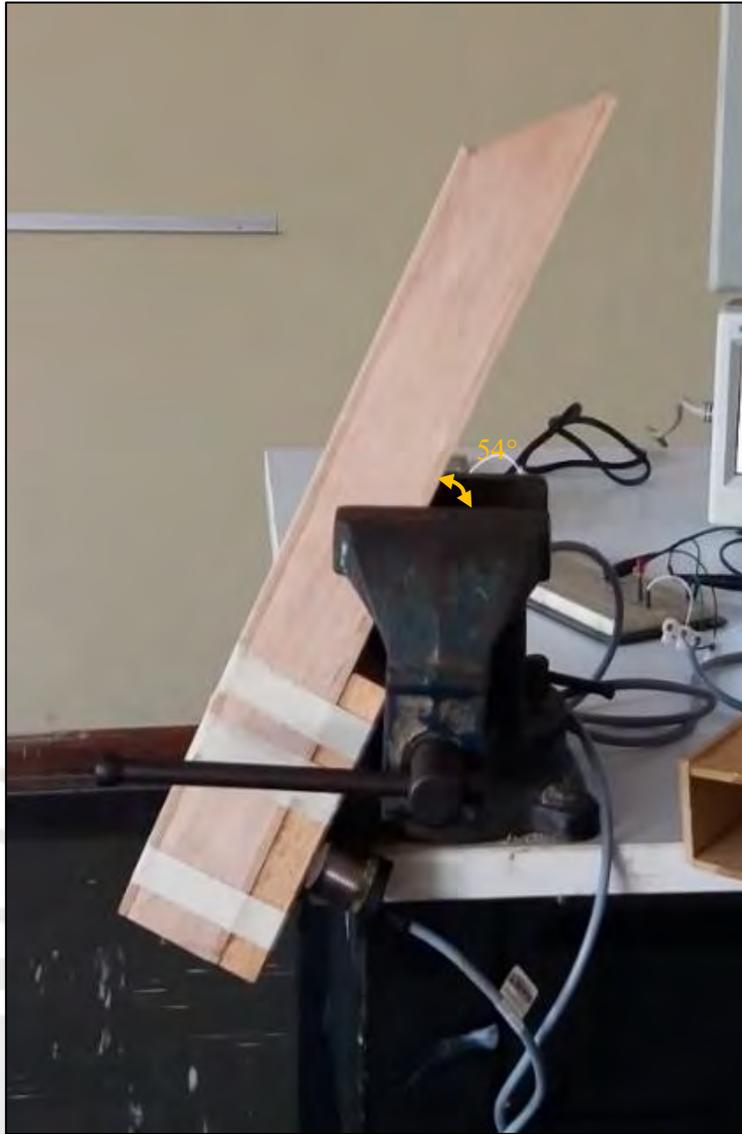


Figura 4.6. Canal de detección de cubiertos. Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Prueba de detección de cubiertos con canal a 54°

i. Tenedor

Los resultados son apreciados en la tabla 4.1.

Tabla 4.1.

Detección de tenedor

Orientación	Ensayos	Detecciones	Doble pulso
54°	25	25	2
73°	20	14	3
90°	30	6	0

Fuente: elaboración propia.

En la figura 4.7 se muestra una detección de 2 pulsos.

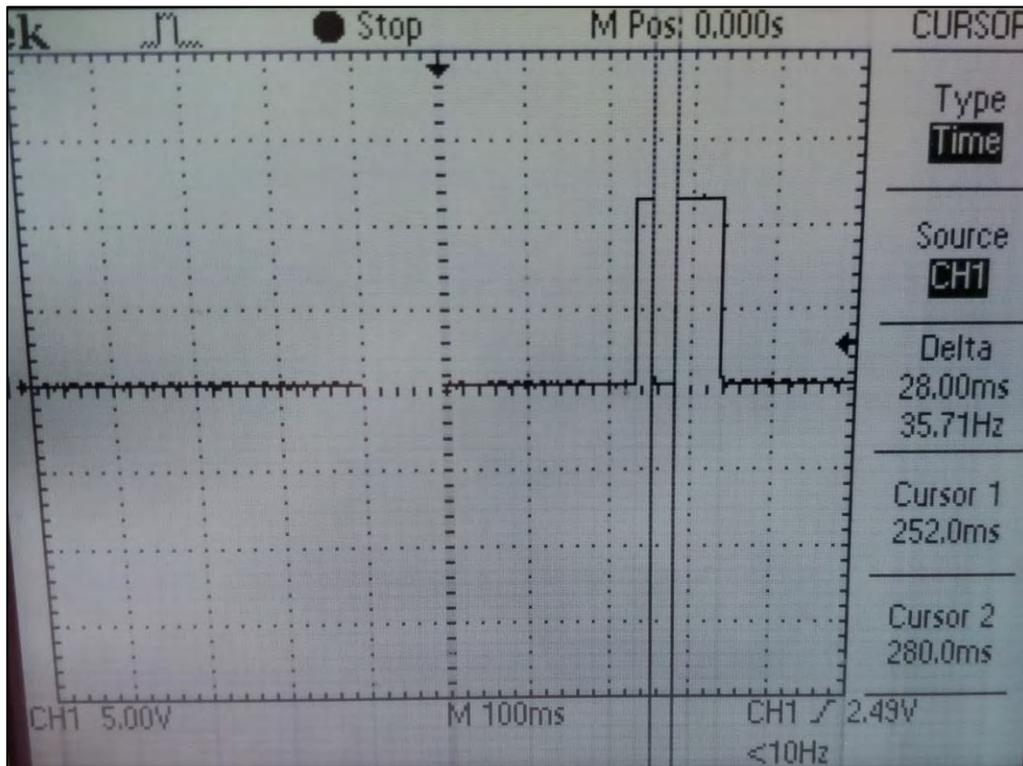


Figura 4.7. Detección de 2 pulsos con tenedor. Fuente: elaboración propia.

El intervalo de tiempo entre el fin e inicio de ambos pulsos es 28 milisegundos.

ii. Cuchillo

Los resultados son apreciados en la tabla 4.2.

Tabla 4.2.

Detección de cuchillo

Orientación	Ensayos	Detecciones	Doble pulso
54°	25	25	0
73°	20	13	0
90°	30	6	0

Fuente: elaboración propia.

En la figura 4.8 se muestra una detección correcta.

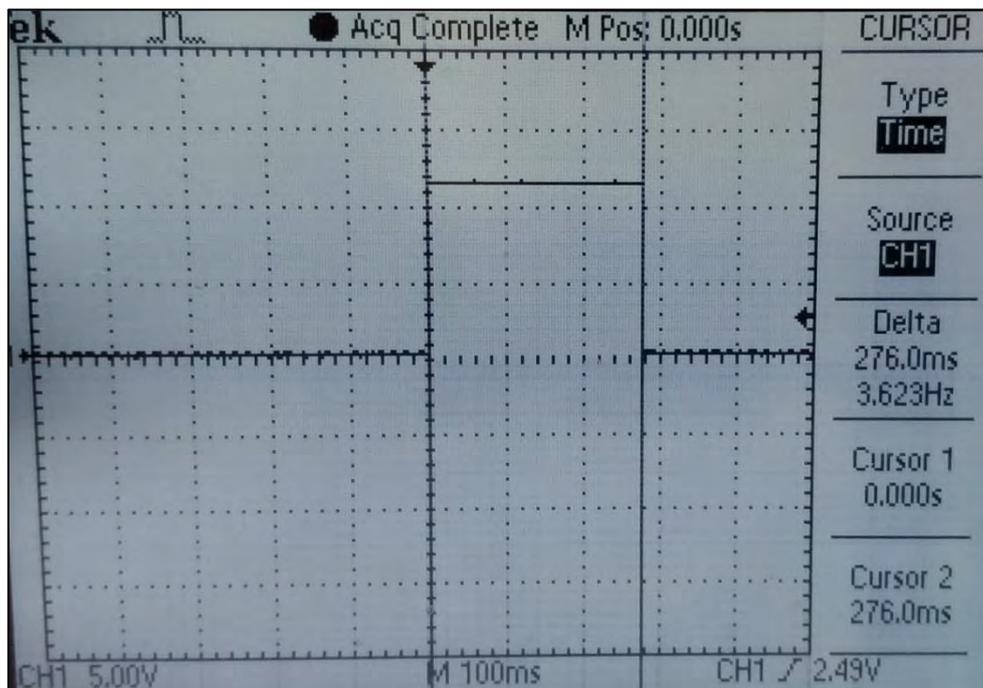


Figura 4.8. Detección de un ancho de pulso de 276 ms. Fuente: elaboración propia.

iii. Cuchara standard

Los resultados son apreciados en la tabla 4.3.

Tabla 4.3.

Detección de cuchara standard

Orientación	Ensayos	Detecciones	Doble pulso
54°	25	25	10
73°	20	16	1
90°	30	6	0

Fuente: elaboración propia.

En la figura 4.9 se aprecia una detección de doble pulso.



Figura 4.9. Detección de 2 pulsos con cuchara standard. Fuente: elaboración propia.

El intervalo de tiempo entre el fin e inicio de ambos pulsos es 28 milisegundos.

iv. Cuchara pequeña

Los resultados son apreciados en la tabla 4.4.

Tabla 4.4.

Detección de cuchara pequeña

Orientación	Ensayos	Detecciones	Doble pulso
54°	25	25	4
73°	20	14	4
90°	30	6	0

Fuente: elaboración propia.

En la figura 4.10 se muestra una detección de doble pulso.



Figura 4.10. Detección de 2 pulsos con cuchara pequeña. Fuente: elaboración propia.

El intervalo de tiempo entre el fin e inicio de ambos pulsos es 36 milisegundos.

Por lo tanto, el 100% de los ensayos con tenedor, cuchillo, cuchara standard y cuchara pequeña se detectó correctamente.

Resultado

Como se aprecia, en el caso de los tenedores y cucharas, debido a su forma, se presentaron detecciones de doble pulso, inconveniente que fue corregido agregando un retardo de 100 milisegundos en la primera detección. Además, los cuchillos tienen una forma plana y las detecciones de este cubierto fueron correctas, es decir, fueron de un solo pulso.

4.2.3. Lectura de cubiertos

En la detección, la señal leída es de 4.58 VDC debido al divisor de tensión. Además, se agregó una estructura en la que reposarán los cubiertos depositados, mostrada en la figura 4.11.



Figura 4.11. Almacén de cubiertos. Fuente: elaboración propia.

4.3. Detección de bandejas

4.3.1. Prueba de funcionamiento

El canal diseñado en Proyecto Electrónico 1 se mantuvo ya que es adecuado para la detección de estos utensilios.

4.3.2. Lectura de bandejas

El sensor óptico fue capaz de leer adecuadamente el depósito de cada bandeja. En la detección, la señal es un 0 lógico mientras que cuando no detecta ninguna bandeja, se lee un 1 lógico.

4.4. Entrega de chocolate

4.4.1. Prueba de funcionamiento

La estructura del diseño final requirió la realización de una pequeña puerta, que se aprecia en la figura 4.12, para el almacenamiento de dulces por parte del personal encargado.



Figura 4.12. Pequeña puerta. Fuente: elaboración propia.

4.4.2. Lectura de corriente consumida por los motores paso a paso

Se usan dos motores paso a paso cuyas características medidas son:

- Corriente consumida por ambos motores: 0.124 amperios.
- Movimiento a paso completo. Para mover los chocolates, giran 90°.
- Potencia: $0.124 \text{ A} \times 12 \text{ V} = 1.5 \text{ Watts}$.

4.5. Prueba de comunicación por radiofrecuencia

El transmisor NRF24L01 presenta dos versiones, una con antena incorporada, y otra con una externa que brinda mayor alcance. Las pruebas se realizaron con ambas versiones.

4.5.1. Prueba de funcionamiento de NRF24L01

Puede ser alimentada con la fuente de tensión proveniente del Arduino (3.3 VDC). Su alcance, en condiciones normales, fue de 10 metros. En condiciones anormales, la señal no es capaz de penetrar los obstáculos a pesar de haber reducido la velocidad de transmisión (250 Kbps). En suma, teóricamente el alcance es mucho mayor pero experimentalmente no lo es.

4.5.2. Prueba de funcionamiento de NRF24L01+PA+LNA

Su alcance, en condiciones normales, fue de 30 metros aunque puede ser mayor ya que en las pruebas, solo se contaba con dos tomacorrientes ubicados a la distancia mencionada. En condiciones anormales, la señal no es capaz de penetrar un gran número de obstáculos presentados a pesar de haber reducido la velocidad de transmisión (250 Kbps). En suma,

teóricamente el alcance es mucho mayor (1 kilómetro) pero experimentalmente no lo es. Finalmente, el consumo de corriente de este módulo es de 150 mA aproximadamente tanto en el emisor como el receptor.

4.6. Prueba de funcionamiento de indicador luminoso

Lámpara de 12 VDC, mostrada en la figura 4.13.



Figura 4.13. Lámpara de 12 VDC. Fuente: elaboración propia

Se probó la lámpara en modo intermitente y prendido; el resultado fue óptimo en ambos casos.

4.7. Prueba de funcionamiento de fuente de alimentación

Se usan 2 fuentes de alimentación en cada circuito. De 5 y 12 VDC. En el emisor, la corriente consumida por los motores paso a paso, los motores DC, sensores ópticos e inductivo viene a ser aproximadamente 2.5 amperios. Por lo tanto, la fuente de 12 VDC proporcionará una corriente de 3 amperios. Además, la corriente consumida por el controlador, sensores ópticos, drivers y módulo de radiofrecuencia viene a ser menor a 0.2 amperios. Por lo tanto, la fuente de 5 VDC proporcionará una corriente de 0.6 amperios.

Por otro lado, en el receptor, la corriente consumida por la lámpara viene a ser 0.4 amperios. Por lo tanto, la fuente de 12 VDC proporcionará una corriente de 1 amperio. Además, la corriente consumida por el controlador, el relé y el módulo de radiofrecuencia viene a ser menor a 0.2 amperios. Entonces, la fuente de 5 VDC proporcionará una corriente de 0.7 amperios. Todas las fuentes de distintos valores, tanto en el emisor y receptor, fueron elegidas por disponibilidad del mercado incluyendo la fiabilidad respecto a otras de menor precio.

4.8. Pruebas en conjunto

Se realizó el funcionamiento del equipo completo incluyendo el circuito receptor que irá ubicado en el comedor. En la figura 4.14 se aprecia el circuito del prototipo.



Figura 4.14. Prototipo. Fuente: elaboración propia.

En la figura 4.15 se muestra la tarjeta del prototipo.

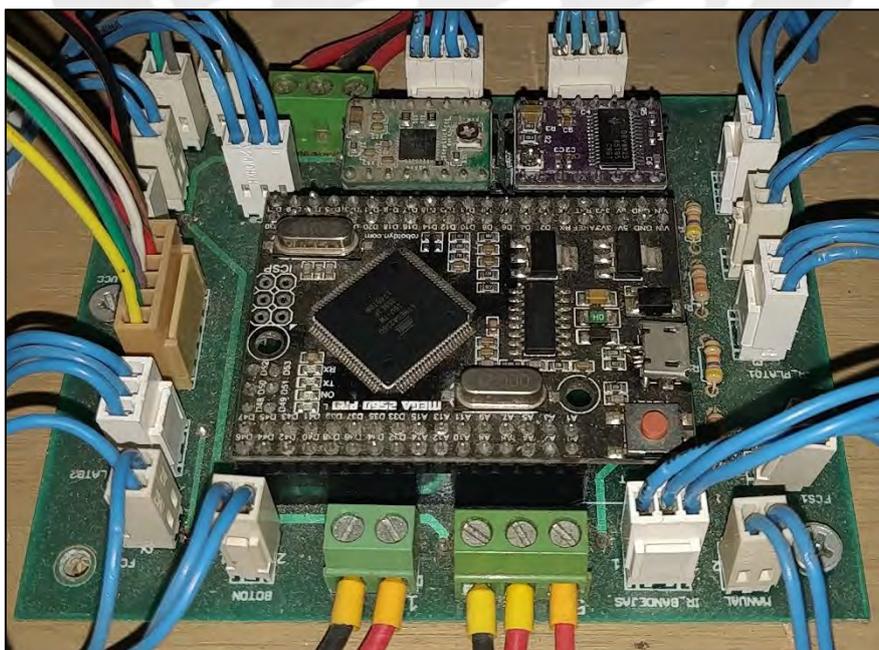


Figura 4.15. Tarjeta del prototipo. Fuente: elaboración propia.

En la figura 4.16 se muestra la detección de platos. El sensor óptico tiene encendida su lámpara roja, lo cual indica que detecta el elemento.



Figura 4.16. Detección de platos de segundo. Fuente: elaboración propia.

En la figura 4.17 se muestra la ausencia de platos y que la plataforma no asciende hasta la superficie de la mesa, sino deja un espacio para validar la presencia de platos.



Figura 4.17. Ausencia de platos. Fuente: elaboración propia.

En la figura 4.18 se observa que el equipo contiene el número máximo de platos: 30.



Figura 4.18. Platos almacenados. Fuente: elaboración propia.

En la figura 4.19 se muestra que los 30 platos son ascendidos a la superficie del prototipo.



Figura 4.19. Platos ascendidos. Fuente: elaboración propia.

La figura 4.20 muestra el almacenamiento de bandejas.



Figura 4.20. Bandejas almacenadas. Fuente: elaboración propia.

La figura 4.21 muestra el almacenamiento de cubiertos.



Figura 4.21. Cubiertos almacenados. Fuente: elaboración propia.

En la figura 4.22 se muestra el receptor.

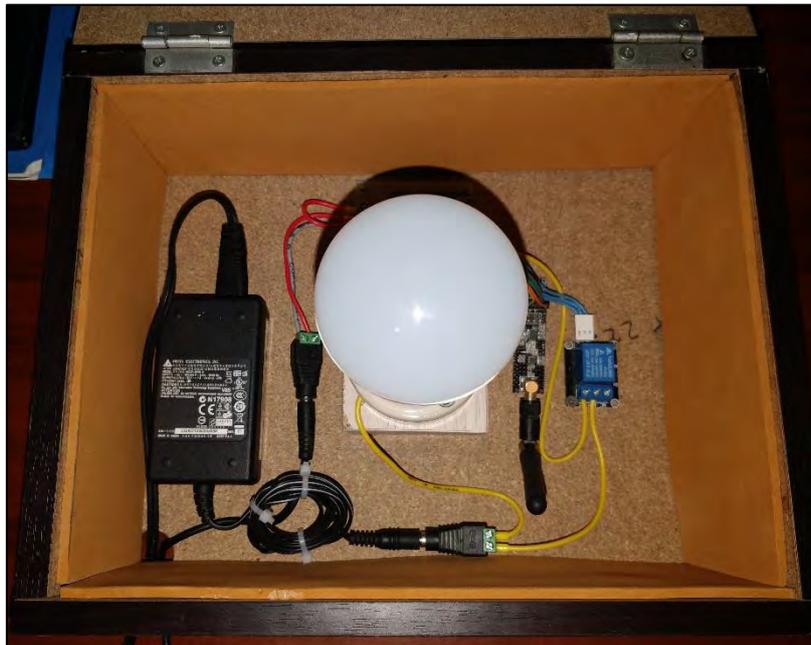


Figura 4.22. Receptor. Fuente: elaboración propia.

En la figura 4.23 se muestra el consumo de corriente al ascender 30 platos de segundo.



Figura 4.23. Corriente al ascender 30 platos de segundo. Fuente: elaboración propia.

En la figura 4.24 se muestra el consumo de corriente al ascender 30 platos de segundo y entrada.



Figura 4.24. Corriente al ascender 30 platos de segundo y entrada. Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

- Los circuitos de sensado y acondicionamiento de señal son fundamentales para la correcta medición de las variables del proceso. Al usar un divisor de tensión, la señal convertida es admisible por el controlador. Análogamente, los circuitos de potencia, a fin de controlar los motores.
- En la implementación del mecanismo de los cuatro elementos de cubertería:
 - Platos de entrada y segundo
El apilamiento de platos de entrada y segundo es diseñado mediante el uso de cadenas, engranajes y piñones. Además, se utiliza un motor de corriente continua con caja reductora. Estos elementos brindan la fuerza necesaria para desplazar el apilamiento de 30 platos y un correcto descenso de cada uno de ellos.
 - Cubiertos
El canal con una determinada inclinación permite la correcta detección de los tenedores, cuchillos y cucharas.
 - Bandejas
Es similar al apilamiento de platos en la manera en que las bandejas son almacenadas una encima de otra. La ranura e inclinación del canal son importantes para una correcta lectura del ingreso de bandejas.
- El diseño del mecanismo de entrega de dulces utiliza una plataforma de almacenamiento y motores paso a paso, necesarios para mover, mezclar y dispensar cada dulce. Esto permite la entrega de un solo chocolate por usuario. Además, este diseño permite una recarga de dulces más adecuada a diferencia de los diseños anteriores.
- En una comunicación inalámbrica, la frecuencia de operación y velocidad de transmisión de los módulos influirá en la capacidad de traspasar obstáculos. El NRF24L01, en ambas versiones, utiliza una frecuencia de 2.4 GHz, por lo que su capacidad de penetración de paredes es mínima. Debido a esto, se usa la versión que incluye una antena.
- Se concluye lo siguiente al realizar las pruebas en conjunto:
 - Las columnas del apilamiento de platos sujetarían mejor la estructura y evitarían la vibración de estos objetos si estas fueran de un material más sólido y resistente, y no de madera.
 - Los motores DC del apilamiento de platos operan adecuadamente a pesar de que la distancia de descenso por cada plato no es constante por la inercia que se genera al descender un nuevo plato y además, considerando el peso del apilamiento que va

incrementándose. Por eso, es necesario el correcto dimensionamiento de las cajas reductoras. Finalmente, es indispensable contar con detectores de fines de carrera debido a que delimitan los topes de ascenso y descenso de la plataforma.

- Los sensores infrarrojos más baratos del mercado son sensibles a la luz solar. A pesar de que dicho componente se encuentre debajo de la superficie superior del equipo, los rayos solares podrían afectar la correcta lectura de platos. Para evitarlo, se utiliza un sensor con la capacidad de filtrar dichos rayos. Las ventanas del comedor central de la Pontificia Universidad Católica del Perú, permiten que gran parte del comedor sea iluminada con luz natural. Es por eso, que al usar los sensores más simples es probable que se tengan lecturas erróneas.
- Si se desea reducir tantas restricciones tales como:
 - ✓ No introducir otros objetos que no sean platos en los orificios de la superficie del equipo
 - ✓ El ángulo de inclinación del canal por el cual caen cubiertos
 - ✓ Utilizar un motor paso a paso con un gran torque para desplazar la plataforma
 - ✓ Mayor capacidad de elementos, entre otros

Se debe realizar una mayor inversión incluyendo el material con el cual está fabricado el prototipo.

- El ruido que se presenta en un comedor es mucho menor al generado en una industria, por lo cual, los componentes utilizados operarán correctamente.

RECOMENDACIONES

- Al depositar cubiertos:
 - Se debe ingresar cada cubierto por separado, es decir no simultáneamente ya que, si esto sucede, el sensor, en algunos casos, considera la lectura de un solo cubierto donde el pulso tiene una duración variable y en otros, proporciona una detección de doble pulso donde el tiempo entre cada pulso es variable y el ancho de cada pulso también lo es.
 - Si se usarán otros cubiertos además de tenedor y cuchillo, estos no deben tener un ancho mayor al del canal (4 centímetros). Hay cucharas que poseen un ancho mayor al indicado y otras que no.
- Depositar bandejas que posean las siguientes medidas: 49.5 x 36.7 x 2.5 centímetros. O simplemente, que las dimensiones de las bandejas no sean mayores a los de la ranura (52.5 x 4 centímetros) y cuyo ancho sea menor a 37 centímetros.
- Al depositar platos:
 - Los platos de entrada se depositan al lado izquierdo del equipo mientras los de segundo, al lado derecho.
 - Se debe ingresar cada plato en el orificio que corresponde y con el mínimo residuo de comida posible para así, tener una torre de platos estable.
 - Solo depositar platos en ambos orificios. Ya que se usa un sensor ON/OFF que no discrimina el tipo de material a detectar, al colocar cualquier objeto o ingresar la mano, el sensor leerá incorrectamente interpretándose como un plato depositado.
- Al llegar a la capacidad máxima, la base contenedora ascenderá el total de platos a la superficie del equipo. La siguiente persona a depositar sus utensilios, debe esperar a que la persona que labora en el comedor retire todos los elementos almacenados en el dispositivo.
- El orden para ingresar cada elemento queda a gusto del usuario. Por ejemplo, la persona puede entregar los platos primero, luego los cubiertos y finalmente la bandeja.
- Después de ingresar los utensilios, el botón debe ser presionado para iniciar el juego. En caso no se ingresen los elementos en su totalidad (no se entregará chocolate), de igual manera, es importante presionar el botón ya que, si esto no sucede, el siguiente usuario, al depositar solo el elemento restante, tendrá la oportunidad de ganar un chocolate a pesar de no haber realizado el depósito completo.
- El encargado del comedor debe retirar todos los elementos que fueron almacenados. No solo algunos.

- Para entablar la comunicación por radiofrecuencia, es importante que no haya obstáculos entre el equipo y el receptor. Además, ambos deben encontrarse a una distancia menor a 25 metros.
- Si se desea ahorrar costos, se debe usar como indicador luminoso una lámpara de 220 VAC y un triac. La ventaja es que ya no se debe incorporar una fuente de 12 VDC debido a que se aprovecha la red eléctrica alterna para energizar al indicador.
- El equipo debe situarse cercano al comedor a fin de que se encuentre a la vista de las personas y depositen sus utensilios. Además, el aforo del comedor debe satisfacer la cantidad de alumnos que almuerzan; de esta manera, no optarían por consumir sus alimentos en otras áreas no destinadas a dicho fin.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] EL TIEMPO
1998 “Falta conciencia ambiental”. [En línea] [Consultado 2016/08/28]
<<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-737225>>
- [2] DEGANADORES
2011 “Historia de la Hora del Planeta: Se inició el 31 de marzo de 2007 en Sidney, Australia”. [En línea] [Consultado 2017/05/24]
<http://www.deganadores.com/index.php?option%3Dcom_content%26view%3Darticle%26id%3D558:historia-de-la-hora-del-planeta%26catid%3D122:nuestra-tierra%26Itemid%3D80>
- [3] CAR FREE DAY METRO DC
2016 About Car Free Day, “What is car free day?”. [En línea] [Consultado 2016/08/28]
<<http://carfreemetrodc.org/about-car-free-day/>>
- [4] REA PUCP
2009 “Comunicado del Comité Ejecutivo de Servicios de Alimentación”.
<<http://reapucp.blogspot.pe/2009/03/colabora-en-las-cafetetas.html>>
- [5] FEDERACIÓN DE ESTUDIANTES PUCP
2013 “Problemática concesionarios de alimentación”.
- [6] REA PUCP
2008 “Aumenta el número de vacantes para el 2009: ¿tenemos capacidad para tanta gente?”. [En línea] [Consultado 2016/08/29]
<<http://reapucp.blogspot.pe/2008/09/aumenta-el-nmero-de-vacantes-para-el.html>>

- [7] TRUE ACTIVIST
2014 “Sydney installs machines that offer bus tickets in exchange for recycling”. [En línea] [Consultado 2016/09/7]
<<http://www.trueactivist.com/sydney-installs-machines-that-offer-bus-tickets-in-exchange-for-recycling/>>
- [8] GREEN LIFESTYLE
2014 “Recycling rewarded in Sydney”. [En línea] [Consultado 2016/09/7]
<<http://www.greenlifestylemag.com.au/news/16130/recycling-rewarded-sydney>>
- [9] INSTRUCTABLES
2010 “Arduino controled dog food/treat dispenser”. [En línea] [Consultado 2016/09/7]
<<http://www.instructables.com/id/Arduino-controlled-dog-food-treat-dispenser/>>
- [10] MAIL ONLINE
2014 “An idea that’s a dog’s dinner! Company creates vending machine that feeds stray animals in return of people recycling bottles”. [En línea] [Consultado 2016/09/8]
<<http://www.dailymail.co.uk/news/article-2730872/An-idea-s-dog-s-dinner-Company-creates-vending-machine-feeds-stray-animals-return-people-recycling-bottles.html>>
- [11] BENRADY
2014 “Candy or Death: The Automatic Halloween Candy Dispenser”. [En línea] [Consultado 2016/09/8]
<<http://www.benrady.com/2014/10/candy-or-death-the-automatic-halloween-candy-dispenser.html>>
- [12] BENRADY
2014 “Halloween Candy Dispenser”. [En línea] [Consultado 2016/09/9]
<<http://imgur.com/a/8OJBE>>

- [13] CUADERNO DE CAMPO
- 2011 “Alimentador de peces Arduino”. [En línea] [Consultado 2016/09/9]
<<http://www.trebol-a.com/2011/10/31/alimentador-de-peces-arduino/>>
- [14] INSTRUCTABLES
- 2014 “Raspberry Pi Twitter Candy Bot”. [En línea] [Consultado 2016/09/9]
<<http://www.instructables.com/id/Raspberry-Pi-Twitter-Candy-Bot/?ALLSTEPS>>
- [15] SMITH, Jack
- 2005 “Embedded Technology: Programming the PIC Microcontroller with MBASIC”. Elsevier Inc., pp. 1–7.
- [16] GRIMMETT, R.
- 2014 “Arduino Robotic Projects”. Packt Publishing Ltd., pp. 1–4.
- [17] GONZÁLEZ, J.
- 2013 “Desarrollo de un servidor web con Arduino para monitorización y control de sensores y actuadores”.
- [18] ARDUINO
- 2016 “Arduino Mega”. [En línea] [Consultado 2016/10/10]
<<https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega>>
- [19] EMBARCADOS
- 2014 “Arduino MEGA 2560”. [En línea] [Consultado 2016/10/10]
<<http://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>>
- [20] LASTRA, D.
- 2015 “Modelo analógico y digital en SystemC-AMS de la placa Arduino Mega 2560”.
- [21] RASPBERRY PI
- 2016 “RASPBERRY PI 3 MODEL B”. [En línea] [Consultado 2016/10/13]
<<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>>

- [22] UPTON, Eben. HALFACREE, Gareth
2012 “Raspberry Pi User Guide”. John Wiley & Sons Ltd., pp. 14–18.
- [23] ROBINSON, Andrew. COOK, Mike
2013 “Raspberry Pi Projects”. John Wiley & Sons Ltd., pp. 10, 18–22.
- [24] WILSON, Jon
2005 “Sensor Technology Handbook”. Elsevier Inc., pp. 1, 6, 196–203, 307–311.
- [25] FARGO CONTROLS, INC.
s/a “Operating principles for inductive proximity sensors”. [En línea] [Consultado 2016/11/24]
<http://www.fargocontrols.com/sensors/inductive_op.html>
- [26] OMRON INDUSTRIAL AUTOMATION
s/a “Basic Switch: NO, NC and COM Contact Terminal”. [En línea] [Consultado 2016/11/24]
<http://www.omron.com.au/service_support/FAQ/FAQ03206/index.asp>
- [27] SENSORTECH
2014 “Basic Operating Principle of an Inductive Proximity Sensor”. [En línea] [Consultado 2016/11/24]
<<https://sensortech.wordpress.com/2014/03/05/basic-operating-principle-of-an-inductive-proximity-sensor/>>
- [28] FARADAYOS
s/a “Detectores o sensores de proximidad inductivos”. [En línea] [Consultado 2016/11/24]
<<http://faradayos.blogspot.pe/2016/07/sensor-detector-inductivo-proximidad.html>>
- [29] MANTENIMIENTO ELÉCTRICO INDUSTRIAL
2011 “Sensor fotoeléctrico”. [En línea] [Consultado 2016/11/25]

- <http://mei-ceet177051wmrn.blogspot.pe/2011/06/sensor-fotoelectronico-un-sensor_14.html>
- [30] INTRODUCCIÓN A LA MECATRÓNICA
2012 “Acondicionamiento de señales”. [En línea] [Consultado 2016/12/1]
<<http://1538445.blogspot.pe/2012/11/22-acondicionamiento-de-senales.html>>
- [31] EVELIUX
s/a “Conversión Analógico – Digital”. [En línea] [Consultado 2016/12/1]
<<http://www.eveliux.com/mx/Conversion-Analogico-Digital-ADC.html>>
- [32] ELECTRÓNICA UNICROM
s/a “Convertidor Digital – Analógico”. [En línea] [Consultado 2016/12/1]
<<http://unicrom.com/convertidor-digital-analogico-cda-dac/>>
- [33] BALCELLS, Josep. DAURA, Francesc. ESPARZA, Rafael. PALLÁS, Ramón.
1992 “Interferencias electromagnéticas en sistemas electrónicos”. Marcombo S.A., p. 141.
- [34] EL RELÉ
2016 “El relé”. [En línea] [Consultado 2016/12/4]
<platea.pntic.mec.es/~pcastela/tecno/documentos/apuntes/rele.pdf>
- [35] STANISLOVAS, Štaras
2010 “Semiconductor electronic devices: study book”. Vilnius Gediminas Technical University, pp. 90–95.
- [36] ELECTRÓNICA PRÁCTICA APLICADA
2013 “Controladores básicos (drivers)”. [En línea] [Consultado 2017/02/2]
<<http://www.diarioelectronicohoy.com/blog/controladores-basicos-drivers>>
- [37] NAYLAMP MECHATRONICS
2016 “Tutorial de Uso del Módulo L298N”. [En línea] [Consultado 2017/02/2]

- <http://www.naylampmechatronics.com/blog/11_Tutorial-de-Uso-del-M%C3%B3dulo-L298N.html>
- [38] MODULAR CIRCUITS
- 2011 “H-Bridges – the Basics”. [En línea] [Consultado 2017/02/3]
- <<http://www.modularcircuits.com/blog/articles/h-bridge-secrets/h-bridges-the-basics/>>
- [39] MIARDUINO
- 2016 “2 motores de c.c. con el L298N”. [En línea] [Consultado 2017/02/3]
- <<http://www.iescamp.es/miarduino/2016/02/23/2-motores-de-c-c-con-el-l298n/>>
- [40] DRIVERFIN32’S BLOG
- 2016 “Uln2003a Driver Ic”. [En línea] [Consultado 2017/02/5]
- <<http://driverfin32.hatenablog.com/entry/uln2003a-driver-ic>>
- [41] WIKIPEDIA
- 2017 “Darlington Transistor”. [En línea] [Consultado 2017/02/6]
- <https://simple.wikipedia.org/wiki/Darlington_transistor>
- [42] POLOLU ROBOTICS AND ELECTRONICS
- s/a “A4988 Stepper Motor Driver Carrier”. [En línea] [Consultado 2017/02/10]
- <<https://www.pololu.com/product/1182>>
- [43] ELECTRONILAB
- s/a “Driver para Motor Paso a Paso 1A – A4988 Pololu Original”. [En línea] [Consultado 2017/02/10]
- <<https://electronilab.co/tienda/driver-motor-paso-a-paso-1a-a4988-pololu/>>
- [44] HUGHES, Austin
- 2006 “Electric motors and drives”. 3ra edición. Elsevier Ltd., pp. 305–307.

- [45] SLIDESHARE
2015 “Motores eléctricos de corriente continua”. [En línea] [Consultado 2016/12/5]
<<https://es.slideshare.net/vcgj/motores-cc-48949345>>
- [46] BRICOGEEK
2011 “Motor Paso a Paso 2.4 Kg/cm, Nema 17”. [En línea] [Consultado 2016/12/5]
<<http://tienda.bricogeek.com/motores/75-motor-paso-a-paso-24kg-cm.html>>
- [47] PROGRAMACIÓN Y ROBÓTICA
2015 “Motores paso a paso”. [En línea] [Consultado 2017/02/11]
<<http://nosinmiarduino.blogspot.pe/2015/02/motores-paso-paso.html>>
- [48] STTAMP
2015 “Servo motor 9G”. [En línea] [Consultado 2016/12/5]
<http://sttamp.com/loja/index.php?route=product/product&product_id=52>
- [49] MASADELANTE
s/a “¿Qué significa Bluetooth? – Definición de Bluetooth”. [En línea] [Consultado 2016/12/7]
<<http://www.masadelante.com/faqs/que-es-bluetooth>>
- [50] RED INALÁMBRICA “WIFI”
s/a “Definición de WIFI”. [En línea] [Consultado 2016/12/7]
<<https://redwifi.wordpress.com/definicion-de-wifi/>>
- [51] LABORATORIO DE COMUNICACIONES INALÁMBRICAS
s/a “Generaciones de WiFi”. [En línea] [Consultado 2016/12/7]
<<http://labinalambricas.blogspot.pe/p/generaciones-de-wifi.html>>
- [52] NAYLAMP MECHATRONICS
s/a “Tutorial ESP8266 Parte I”. [En línea] [Consultado 2016/12/7]
<http://www.naylampmechatronics.com/blog/21_Tutorial-ESP8266-Parte-I.html>

- [53] MASADELANTE
s/a “¿Qué es SMS? – Definición de SMS”. [En línea] [Consultado 2016/12/7]
<<http://www.masadelante.com/faqs/sms>>
- [54] INTRODUCCIÓN A LA DIFUSIÓN DE SEÑALES DE RADIO Y TELEVISIÓN
s/a “Radiofrecuencia”. [En línea] [Consultado 2017/03/28]
<<http://serbal.pntic.mec.es/srug0007/archivos/radiocomunicaciones/1%20INTRODUCCI%20D3N/1%20Radiofrecuencia.pdf>>
- [55] SLIDESHARE
2015 “Transmisión de datos por radiofrecuencia”. [En línea] [Consultado 2017/03/28]
<<https://es.slideshare.net/nallely2015/transmision-de-datos-por-radio-frecuencia>>
- [56] NAYLAMP MECHATRONICS
2016 “Tutorial básico NRF24L01 con Arduino”. [En línea] [Consultado 2017/03/29]
<http://www.naylampmechatronics.com/blog/16_Tutorial-b%C3%A1sico-NRF24L01-con-Arduino.html>
- [57] PROMETEC
s/a “Los módulos de radio NRF24L01”. [En línea] [Consultado 2017/03/29]
<<http://www.prometec.net/nrf2401/>>
- [58] ITEAD
s/a “NRF24L01 with PA and LNA module”. [En línea] [Consultado 2017/04/15]
<<https://www.itead.cc/nrf24l01-with-pa-and-lna-module.html>>
- [59] HOPE RF
s/a “RFM69W ISM Transceiver Module V1.3”. [En línea] [Consultado 2017/04/20]
<<http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM69W-V1.3.pdf>>

[60] TDROBOTICA

s/a “Módulo de comunicación RFM69 (915 MHz)”. [En línea] [Consultado 2017/04/21]

<<http://tdrobotica.co/modulo-de-comunicacion-rfm69-915mhz/436.html>>

[61] MYSENSORS

2015 “Which is better: RFM69 or NRF24L01+?”. [En línea] [Consultado 2017/04/21]

<<https://forum.mysensors.org/topic/1723/which-is-better-rfm69-or-nrf24l01/3>>

[62] BANGGOOD

s/a “T8 800 mm Stainless Steel Lead Screw Set with Shaft coupling and Mounting Support”. [En línea] [Consultado 2017/05/23]

<<https://www.banggood.com/T8-800mm-Stainless-Steel-Lead-Screw-Set-with-Shaft-coupling-and-Mounting-Support-p-1062920.html>>

[63] AMAZON

s/a “RioRand 0.9°57mm-Hybrid-Stepper-Motor-NEMA23(JK57HM41-2804)”. [En línea] [Consultado 2019/11/25]

<<https://www.amazon.ca/RioRand-RRSDRKRIDLBNJG-0-9%C2%B057mm-Hybrid-Stepper-Motor-NEMA23-JK57HM41-2804/dp/B00JTM2TMM>>

[64] ALLDATASHEET

s/a “A4988 Datasheet(PDF) 1 Page – Allegro MicroSystems”. [En línea] [Consultado 2018/10/25]

<<https://html.alldatasheet.com/html-pdf/338780/ALLEGRO/A4988/292/1/A4988.html>>

[65] NORDIC SEMICONDUCTOR

2007 “nRF24L01 Single Chip 2.4GHz Transceiver”. [En línea] [Consultado 2020/02/26]

<<https://datasheet4u.com/datasheet-parts/NRF24L01-datasheet.php?id=829184>>

- [66] ALIEXPRESS
s/a “Sensor de interruptor fotoeléctrico reflex de valoración E3F-R2N12 DC NPN NO + NC diámetro 18 mm Distancia 2 m transductor”. [En línea] [Consultado 2020/02/27]
<<https://es.aliexpress.com/item/32219483079.html>>
- [67] CARROD ELECTRONICA
s/a “Módulo Sensor Infrarrojo Detector de Obstáculos”. [En línea] [Consultado 2020/02/27]
<<https://www.carrod.mx/products/modulo-sensor-infrarrojo-detector-de-obstaculos>>
- [68] FINGLAI
s/a “LJ30A3-15 series cylinder inductive proximity sensor”. [En línea] [Consultado 2020/02/27]
<<https://www.finglai.com/products/sensors/cylinder-proximity-sensors/M30-15mm/>>
- [69] BALLUFF
s/a Capacitive Sensor for Analog Distance Measurement; Standard sensor, cylinder design, DC 3-wire, M18x1.
- [70] GGM GEARED MOTOR
s/a “DC MOTORS”. [En línea] [Consultado 2020/02/27]
<https://www.ggmamerica.com/wp-content/uploads/dc_k6d.pdf>
- [71] GGM
s/a Manual GEAR HEAD.
- [72] DIETZ SENSORTECHNIK
s/a “Ring sensors SIA 63-CE PNP NO+NC HR”. [En línea] [Consultado 2020/02/27]
<<https://en.dietz-sensortechnik.de/product/ring-sensors-inductive-ring-sensors-static-detection-principle-male-connector-m12-sia-63-ce-pnp-no-nc-hr.html>>

Anexo A

Operación del driver L298N

El driver L298N, mostrado en la figura A1, es un puente H dual que permite controlar el sentido de giro y velocidad de dos motores DC o un motor paso a paso.



Figura A1. Driver L298N [37].

Puente H

Un puente H es un circuito que contiene cuatro conmutadores y la carga (motor) al centro formando gráficamente una configuración en forma de H [38]. Este circuito, mostrado en la figura A2, permite invertir la polaridad del motor.

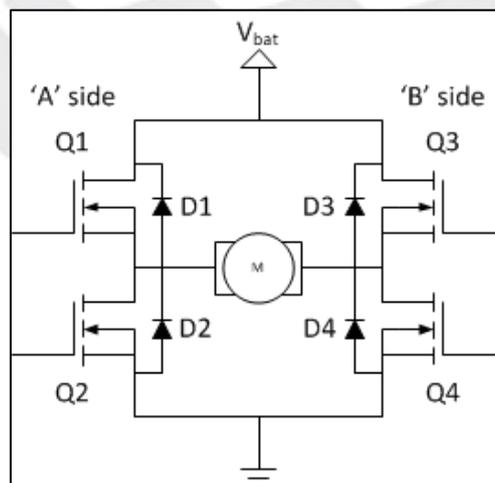


Figura A2. Puente H [38].

Q1, Q2, Q3 y Q4 son los conmutadores que usualmente pueden ser transistores BJT (en el caso de L298N), mosfets, IGBTs. Además, D1, D2, D3 y D4 son diodos que permitan circular en

sentido inverso a las corrientes inducidas. Son diodos de protección. Para operar el motor, solo Q1 y Q4 deberán estar alimentados, esto permitirá energizar el motor haciéndolo girar en un sentido. Además, si se desea invertir el giro, se debe alimentar solo Q2 y Q3, así, el motor se energizará en dirección reversa.

Especificaciones

- Cuenta con dos canales, cada uno admite un máximo de corriente de 2 amperios
- Voltaje lógico: 5 VDC
- Voltaje de operación: 5-35VDC
- Consumo de corriente digital: 0-36 miliamperios
- Potencia máxima: 25 watts

Adicionalmente, este cuenta con todos los componentes necesarios como diodos de protección y un regulador 7805 que alimenta la parte lógica del L298N [37].

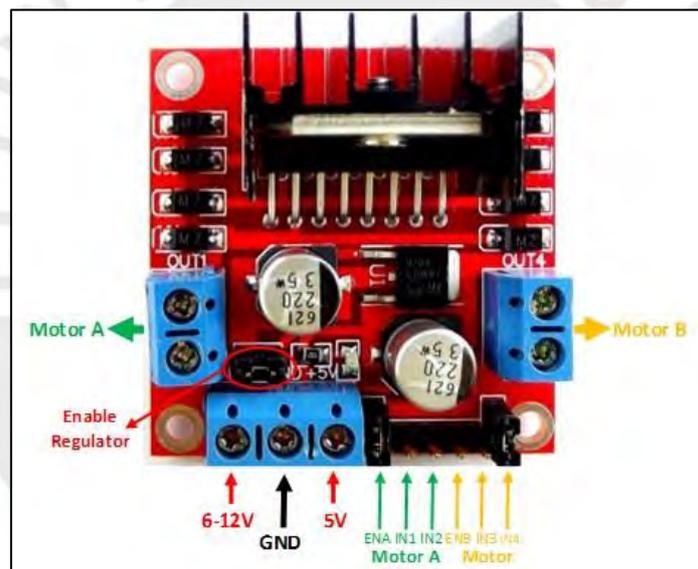


Figura A3. Driver L298N [39].

En la figura A3 se aprecia que el driver presenta habilitadores (jumpers) para permitir la operación de cada motor, entradas lógicas (IN1, IN2, IN3 e IN4) que llegan del microcontrolador para controlar el sentido de giro, y salidas que van hacia cada motor (A y B). También, cuenta con dos entradas de alimentación, una de 5 VDC que controlará la parte lógica, que se usará dependiendo de la tensión de alimentación del motor.

- Si esta está comprendida entre 6 y 12 VDC, no será necesario alimentar al driver con 5 VDC externo y se mantendrá el jumper de selección (enable regulator) para mantener el regulador activo.
- Si el motor será alimentado con una tensión comprendida entre 12 y 35 VDC, será indispensable alimentar al driver con 5 VDC externo y a la vez, retirar el jumper de selección (enable regulator) para deshabilitar el regulador.

En caso se quiera controlar la velocidad de cada motor, se retiran los jumpers ENA y ENB y se les aplica una señal PWM.

Finalmente, para controlar un motor paso a paso bipolar, ambas salidas (motor A y B) se conectan a cada bobina de dicho motor. También se puede controlar un motor paso a paso unipolar, obviando los cables que van conectados al centro de cada bobina [37, 39].



Anexo B

Operación del driver A4988

Características

- Control de dirección y paso (DIR y STEP)
- Permite variar la corriente de salida que consume el motor con un potenciómetro.
- Cinco resoluciones diferentes: paso completo, medio paso, un cuarto de paso, un octavo de paso y un dieciseisavo de paso, como se aprecia en la figura 2.16.
- Alimentación lógica: 3 – 5.5 VDC
- Alimentación del motor: 8 – 35 VDC

En la figura A4 se muestra la configuración de resolución de pasos y en la figura A5, la conexión al motor en paso completo.

MS1	MS2	MS3	Resolución de micropaso
Bajo	Bajo	Bajo	Paso completo (<i>Full step</i>)
Alto	Bajo	Bajo	Medio paso (<i>Half step</i>)
Bajo	Alto	Bajo	Un cuarto de paso (<i>Quarter step</i>)
Alto	Alto	Bajo	Un octavo de paso (<i>Eighth step</i>)
Alto	Alto	Alto	Un dieciseisavo de paso (<i>Sixteenth step</i>)

Figura A4. Resolución de pasos [43].

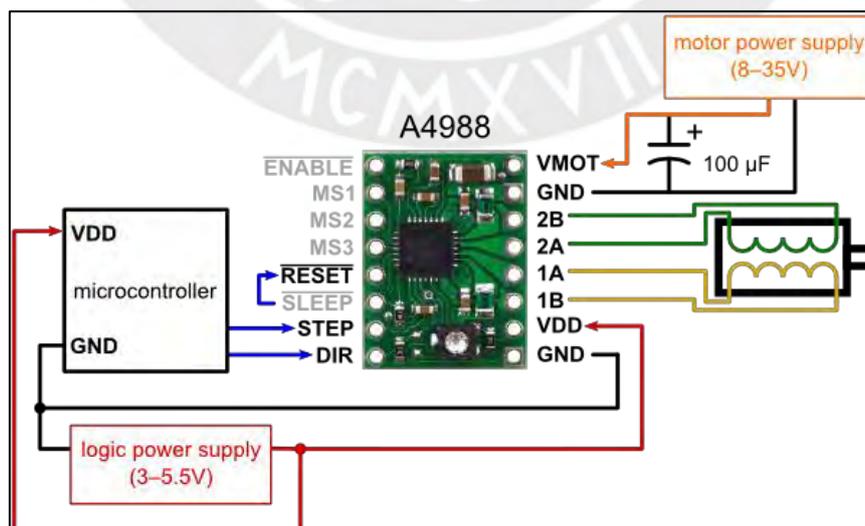


Figura A5. Conexión a motor paso a paso para trabajar a paso completo [43].

Anexo C

Diseño inicial del prototipo

En la figura A6 se muestra el prototipo brindado por alumnos de Proyecto Electrónico 1 del ciclo 2016-1, el cual otorgaba fichas como compensación y no dulces.



Figura A6. Prototipo inicial. Fuente: elaboración propia.

Anexo D

Elección del sensor infrarrojo E3F-R2N12

De la siguiente tabla:

Tabla A1

Alternativas de elección del sensor para detectar platos

Alternativa	Configuración y/o característica	Alcance	Costo
Sensor capacitivo digital de proximidad	Tensión de seña de salida alto o bajo	Hasta 20 mm	Desde S/. 40.00
Sensor capacitivo analógico de proximidad	Detección de distintos materiales a la misma distancia	Hasta 8 mm	\$ 594.89
Sensor infrarrojo	Barrera emisor-receptor. Uso de modulación NEC. Frecuencia: 38 KHz	3 metros con potencia de led emisor de 0.1 Watt	Led emisor: S/. 0.50 Receptor TSOP1738: S/. 5.00
	Difuso	Hasta 4 metros	A partir de S/. 25.00
	Barrera reflectiva	Hasta 4 metros	A partir de S/. 50.00
Celda de carga	Medida de peso de cada plato	Hasta 10, 15, 20 kilos	A partir de S/. 15.00
Sensor de color TCS230	Detección de color del plato (blanco)	Hasta 20 mm	S/. 20.00

Fuente: elaboración propia.

Selección

El sensor capacitivo digital de proximidad posee poco alcance. Además, los platos que se coloquen a más de 20 milímetros no serán detectados y es probable que los usuarios no depositen los platos a la misma distancia del sensor. El sensor capacitivo analógico es demasiado caro. La celda de carga no otorga valores ON/OFF, además no todos los platos pesan exactamente lo mismo a pesar de ser del mismo tipo (entrada o segundo). Adicionalmente, se depositarán platos con restos de comida, lo que aumenta el peso total, por lo tanto, usar una celda de carga nos dará una detección poco fiable. Por otro lado, las lecturas del sensor de color TCS230 dependen de la luz ambiental y la distancia a la cual detecta algún color. Además, el plato no siempre será depositado a la misma distancia de la que se encontraría el sensor de color. Entonces, se decide usar un sensor infrarrojo de la siguiente manera.

En primer lugar, se decide su operación en configuración de barrera reflectiva, ya que se desea

que el plato intersecte la señal infrarroja. No se decide la configuración difusa ya que, para esto, el plato deberá reflejar la señal emitida por el sensor y para que esto suceda, el sensor deberá estar ubicado estratégicamente y no al mismo nivel. Además, para detectar dicho elemento en esta configuración, este debe ser colocado en una posición fija y es poco probable que los usuarios depositen cada uno de estos objetos de esta manera debido a que pueden contener restos de comida que varíen la orientación del plato.

En segundo lugar, no se decide el uso de un led emisor infrarrojo y un fototransistor, es decir los más simples y baratos del mercado, ya que estos son sensibles a la luz solar y podrían leer valores erróneos. Por lo tanto, una opción habría sido aplicar una modulación NEC a 38 KHz. Estos no son sensibles a la luz solar; sin embargo, se necesita que el emisor y receptor pertenezcan a circuitos electrónicos distintos ya que el emisor siempre deberá emitir la señal infrarroja con modulación NEC. Además, su aplicación no es ideal para esta tesis ya que se requiere el uso de retardos (función delay) en ambos controladores, lo cual provocaría lecturas erróneas en el receptor. Estos son usados mayormente en los controles remotos de los televisores, al presionar una tecla del control remoto, se envía un código distinto a otro botón perteneciente al mismo dispositivo.

Se elige el sensor E3F-R2N12 ya que contiene un filtro que disminuye considerablemente los ruidos externos incluida la luz solar. Además, la superficie superior del equipo recolector cubrirá al sensor, así que esta señal externa proveniente del Sol será mínima. También, el sensor E3F-R2N12 es el que presenta un precio más cómodo (S/. 50.00) dentro de todos los modelos similares ya que los usados en la industria son los más caros.

Anexo E

Diseño de estructura de detección de platos

- Primer diseño

Inicialmente, la estructura heredada de Proyecto Electrónico 1, mostrada en la figura A7, contenía cadenas, piñones, engranajes, ejes huecos de aluminio, prisioneros, rieles de cajón, listones de madera y un motor DC con caja reductora.

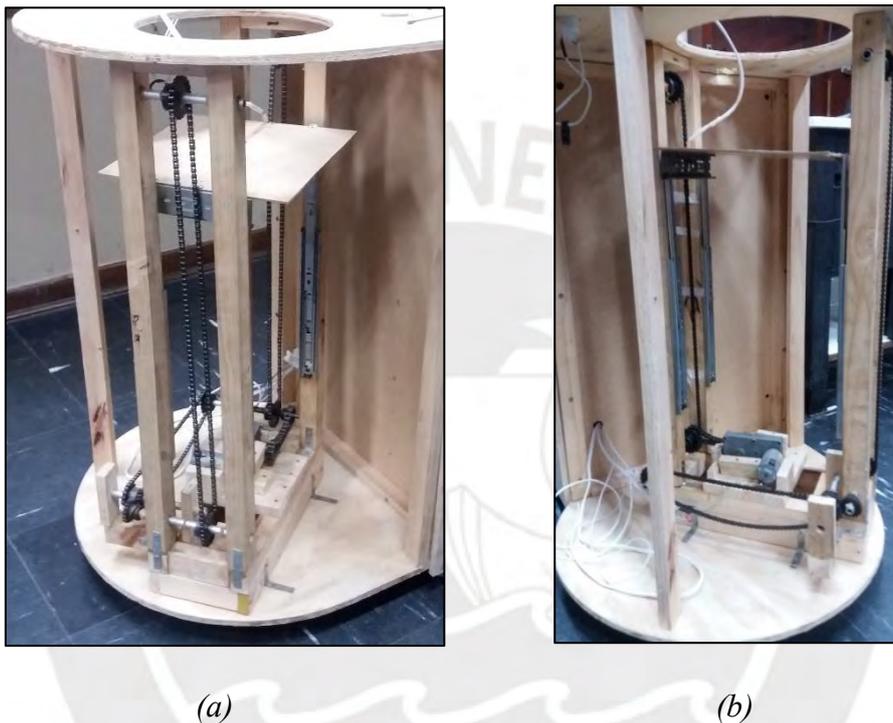


Figura A7 a) y b). Mecanismo heredado de Proyecto Electrónico 1. Fuente: elaboración propia.

Se descartó el uso de este mecanismo, mostrado en la figura A4.1, debido a la poca fiabilidad de almacenar platos de manera adecuada ya que las cadenas no se encontraban templadas adecuadamente, los ejes eran huecos, los cuales originaban poca resistencia a los piñones y cadenas. Además, los rieles por el cual la base se desplazaba verticalmente no eran los adecuados y solían salirse a veces. Finalmente, esta estructura no aguantaría el peso de 30 platos.

- Segundo diseño

Por lo tanto, se elaboró otra estructura con el mismo diseño inicial reemplazando los ejes por otros de aluminio sólido, se templaron adecuadamente las cadenas y se reemplazó los soportes

de la base rectangular por ángulos de aluminio. Este diseño se aprecia en las figuras A8 a la A12.



Figura A8. Listones de madera. Fuente: elaboración propia.



Figura A9. Piñones y engranajes. Fuente: elaboración propia.



Figura A10. Motor de corriente continua con caja reductora. Merkle-Korff S5002H. Fuente: elaboración propia.



Figura A11. (Izquierda) Rieles de cajón y ángulo de aluminio. (Derecha) Primera versión de estructura de apilamiento. Fuente: elaboración propia.

Al realizar la prueba de esta nueva estructura, el motor Merkle-Korff S5002H solo pudo mover un máximo de seis platos, por lo que se reemplazó por otro también de corriente continua pero de mayores características como torque y velocidad.

- Tercer diseño



Figura A13. Motor de corriente continua 3120G-24F-9K24F, Tokushu Denso.

Fuente: elaboración propia.



Figura A14. Datos de placa del motor. Fuente: elaboración propia.

Al realizar las pruebas con el motor de la figura A13, cuyos datos son mostrados en la figura A14, los rieles de cajón tendían a desacomodarse de su posición y no soportaba un peso de cinco kilos. Además, a pesar del gran torque del motor (43 kg-cm), este debía contar con una entrada de tensión de freno ya que al agregar un poco de peso o solo empujar hacia abajo la

plataforma, esta caía hasta el límite inferior en caso se almacene el número máximo de platos. Además, a pesar de que el motor pudiera poseer esta característica, al desactivar el freno, la base que contiene los platos tendería a descender en caso esté soportando un peso considerable (cinco kilos o más). En conclusión, la caja reductora del motor a ser usado debe ser capaz de evitar el descenso de la plataforma en caso se agregue más peso a dicha estructura.

- **Cuarto diseño**

Luego, se diseñó otra estructura similar pero que no contenía cadenas, engranajes, piñones ni rieles de cajón. En lugar de ello, poseía un tornillo sin fin, apreciado en la figura A15, en cada lado de la estructura cuyo movimiento era controlado por el motor inicial del primer diseño (uno para cada tornillo sin fin).



Figura A15. Tornillo sin fin [62].

Se optó por el uso de un tornillo sin fin debido a que la única manera de mover ascendentemente o descendientemente la plataforma que contiene los platos es girando dicho tornillo, por lo tanto, la plataforma ya no cedería ante un peso de cinco kilos o más.



Figura A4.16. (Izquierda) Cuarto diseño de apilamiento. (Derecha) Cuarto diseño con cinco kilos. Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, a pesar de que el mecanismo, que se muestra en las figuras A16 y A17, funcionaba correctamente, el tiempo que tomaba en descender por plato era de 40 segundos (distancia de tres centímetros) y cuando la estructura contenía el total de platos, tomaba 6 minutos en ascenderlos hasta la cima del equipo. Y lo deseable, es un tiempo mucho más corto (menos a 30 segundos en ascender el total de platos). Es por esta razón que el cuarto diseño quedó descartado.

- **Quinto diseño**

Se decidió volver a usar cadenas como en los primeros diseños ya que el uso de estas proporcionan el tiempo de subida requerido para la cantidad máxima de platos que se desea ascender; sin embargo, a diferencia de diseños anteriores, se utilizó un motor en cada lado, es decir, el diseño no contiene engranajes ni rieles de cajón. En su lugar, se adicionan 4 tubos de aluminio. Cada uno posee un rodamiento lineal que permite movilizar la plataforma contenedora. Este diseño se muestra en la figura A18.



Figura A18. Quinto diseño de apilamiento. Fuente: elaboración propia.



Figura A19. Motores DC en cada lado de la estructura. Fuente: elaboración propia.

A pesar de que ambos motores, mostrados en la figura A19, poseen las mismas características (velocidad, tensión, torque, corriente) y también son idénticos físicamente, hubo un desfase de velocidad entre ambos. Al alimentar a ambos motores a la vez, uno giraba 4 vueltas mientras el otro 3 vueltas y $\frac{3}{4}$. Esto puede ser debido a que ambos motores han sido utilizados desde hace años. Finalmente, este desfase provocaba que la plataforma donde se almacenan los platos

se incline notoriamente. Dicho inconveniente se minimizó agregando un retardo a uno de los motores; sin embargo, el problema no fue solucionado en su totalidad y este diseño de apilamiento quedó descartado.

- **Sexto diseño**

A diferencia del diseño anterior, este posee solo un motor, mostrado en la figura A20 a), b) y c) y se adiciona engranajes y piñones para que dicho actuador pueda mover la plataforma contenedora de la estructura. Este es el diseño que finalmente queda operativo y que se aprecia en la figura A20 d) y e).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura A20 a) – e). Sexto diseño de apilamiento. Fuente: elaboración propia.

En el segundo diseño, el motor usado fue el Merkle-Koffer S5002H, dicho diseño fue similar al sexto a diferencia de que el segundo contenía rieles de cajón mientras el sexto, tubos y rodamientos lineales. Como se mencionó, el segundo diseño fue descartado debido a que dicho motor solo soportaba 6 platos y operando en el sexto diseño, el resultado no variaría.

Debido a esto, se selecciona el motor K6DG15N1 del fabricante GGM, ya que al adicionar dos cajas reductoras, proporciona una velocidad en rpm menor a la del modelo S5002H y un torque mayor al de las alternativas presentadas. A pesar del costo, la disponibilidad en el mercado local de un motor acorde a los requerimientos es mínima.

Anexo F

Diseño de estructura de detección de cubiertos y pruebas

- Estructura

Inicialmente, el canal heredado, mostrado en la figura A21 y A22, por el cual se depositaban los cubiertos contenía un sensor inductivo de 12 mm de diámetro y 4 mm de alcance. Al realizar las pruebas, la detección de cubiertos no fue válida en su totalidad debido a las características del sensor (corto alcance). Además, el ancho del canal no era cubierto en su mayor parte por el diámetro del sensor y no permitía una detección fiable.

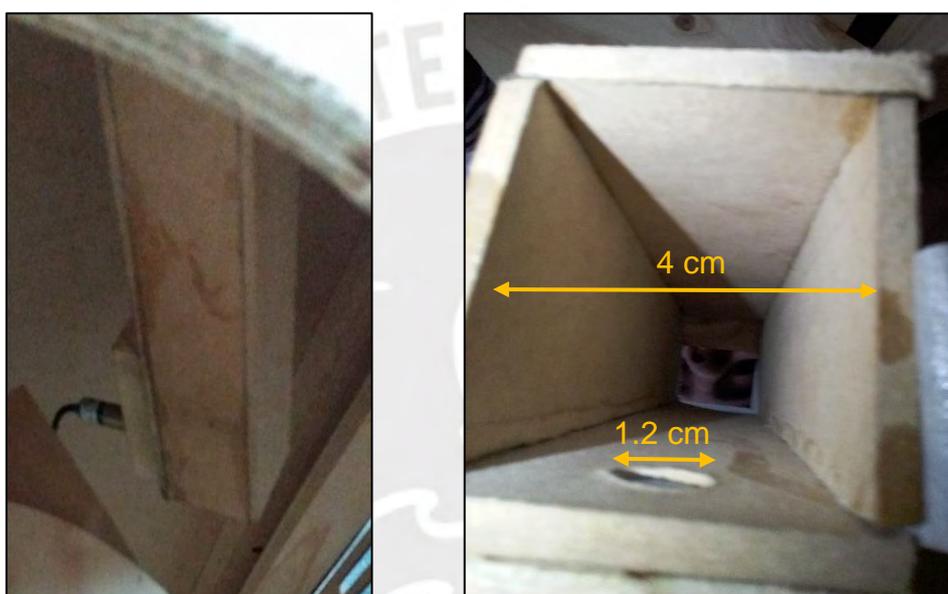


Figura A21. (Izquierda) Primer diseño (heredado) de la estructura de detección de cubiertos. (Derecha) Vista desde la parte inferior de la estructura. Ancho del canal de 4 cm y diámetro del sensor de 12 mm. Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, se elaboró otra estructura manteniendo el mismo diseño con un sensor inductivo de 30 mm de diámetro y 15 mm de alcance.

- Pruebas de detección de cubiertos

a. Orientación vertical

Total de ensayos en conjunto: 30

Detecciones: 6

Solo el 20% del total de ensayos se detectó correctamente. En la figura A23 se aprecia la orientación del canal.



Figura A23. Orientación vertical. Fuente: elaboración propia.

En la figura A24 se muestra la detección correcta de un cubierto.

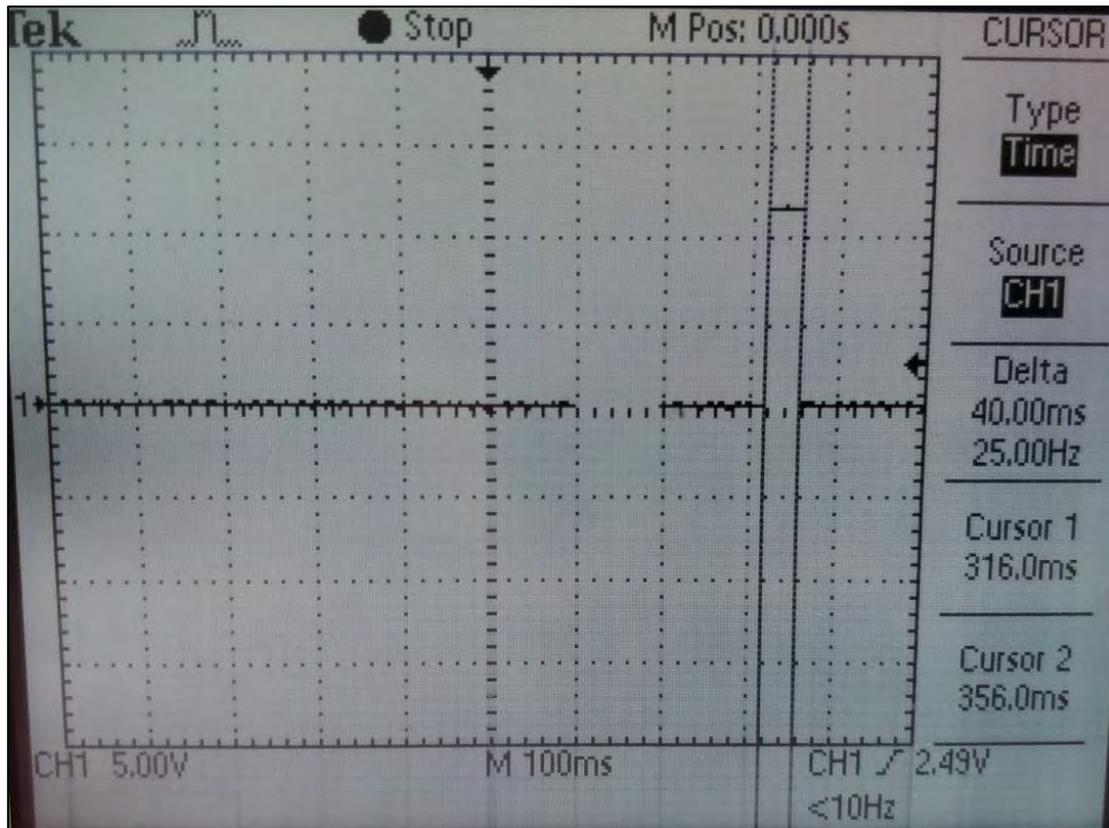


Figura A24. Detección con un ancho de pulso de 40 milisegundos. Fuente: elaboración propia.

b. Orientación a 73°

Ensayos de cada cubierto: 20

En la figura A25 se aprecia la orientación del canal.



Figura A25. Orientación a 73° . Fuente: elaboración propia.

i. Tenedor

Detecciones: 14, donde 3 de ellas fueron de doble pulso como se aprecia en la figura A26.

El 70% del total de ensayos con tenedor se detectó correctamente.

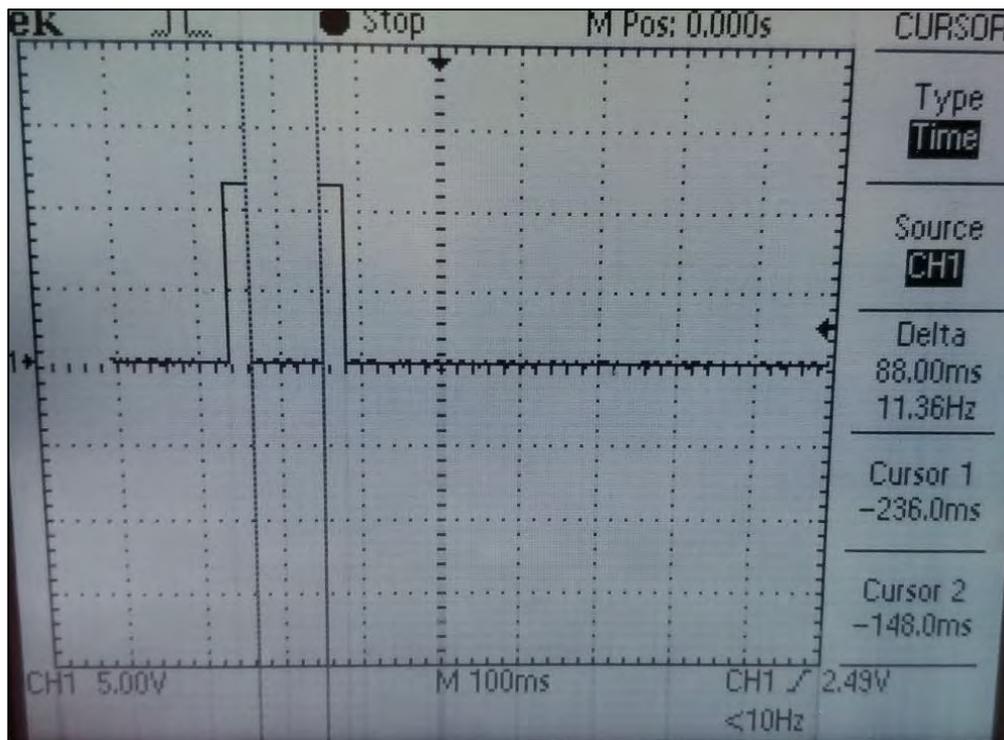


Figura A26. Detección de dos pulsos. Fuente: elaboración propia.

El intervalo de tiempo entre el fin e inicio de ambos pulsos es 88 milisegundos.

ii. Cuchillo

Detecciones: 13, donde no se detectó ninguna señal de doble pulso.

El 65% de los ensayos con cuchillo se detectó correctamente como se aprecia en la figura A27.

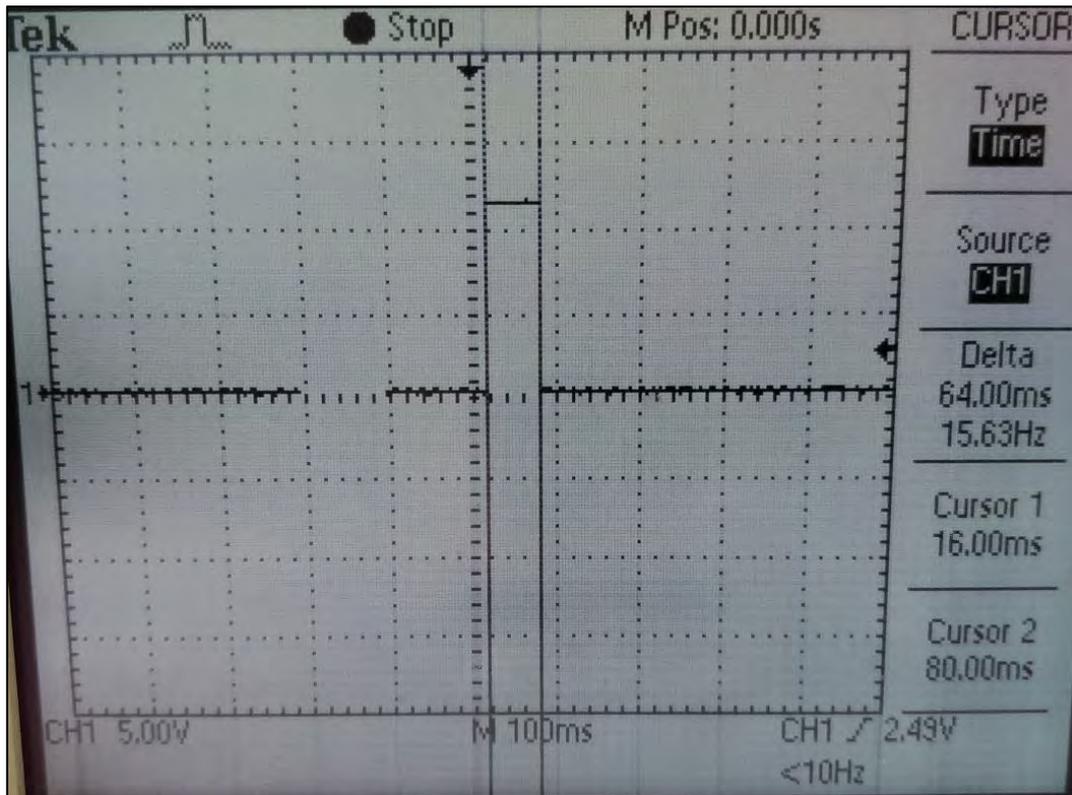


Figura A27. Detección con un ancho de pulso de 64 milisegundos. Fuente: elaboración propia.

iii. Cuchara standard

Detecciones: 16, donde 1 de ellas fue de doble pulso como se aprecia en la figura A28.

El 80% del total de ensayos con cuchara standard se detectó correctamente.

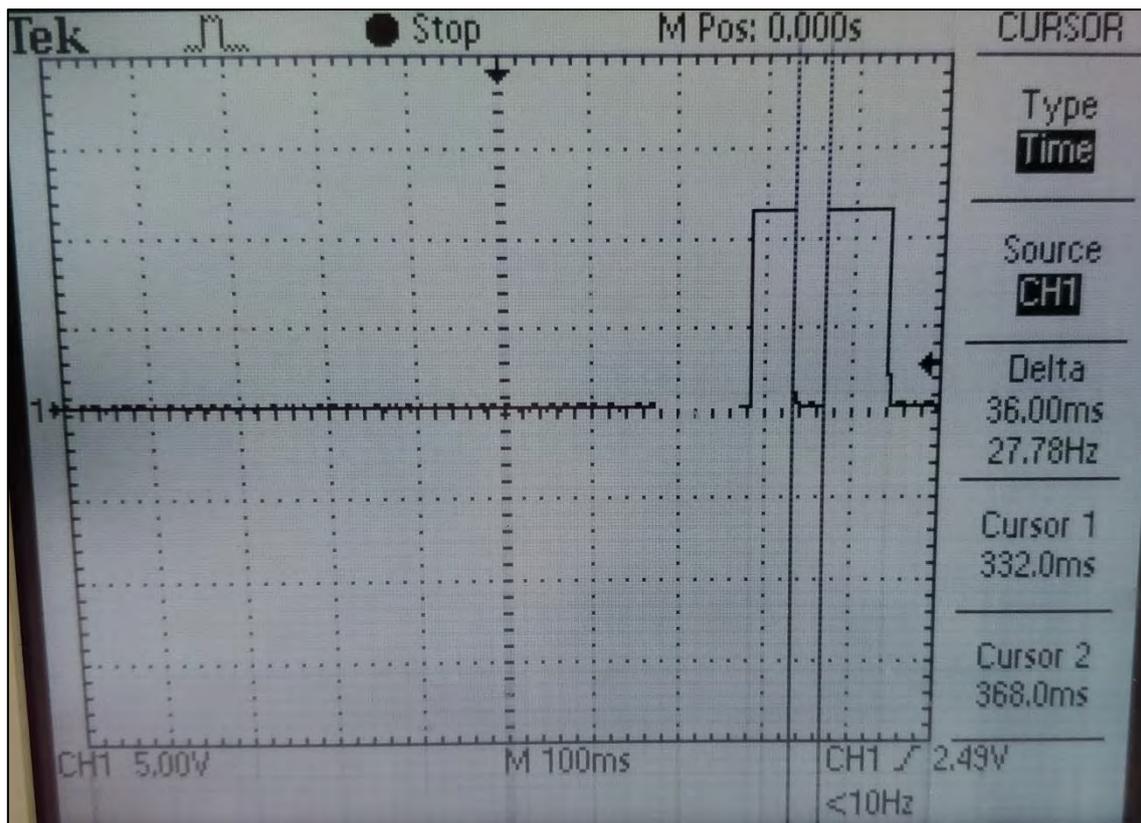


Figura A28. Detección de dos pulsos. Fuente: elaboración propia.

El intervalo de tiempo entre el fin e inicio de ambos pulsos es 36 milisegundos.

iv. Cuchara pequeña

Detecciones: 14, donde 4 de ellas fueron de doble pulso como se aprecia en la figura A29.

El 70% del total de ensayos con cuchara pequeña se detectó correctamente.

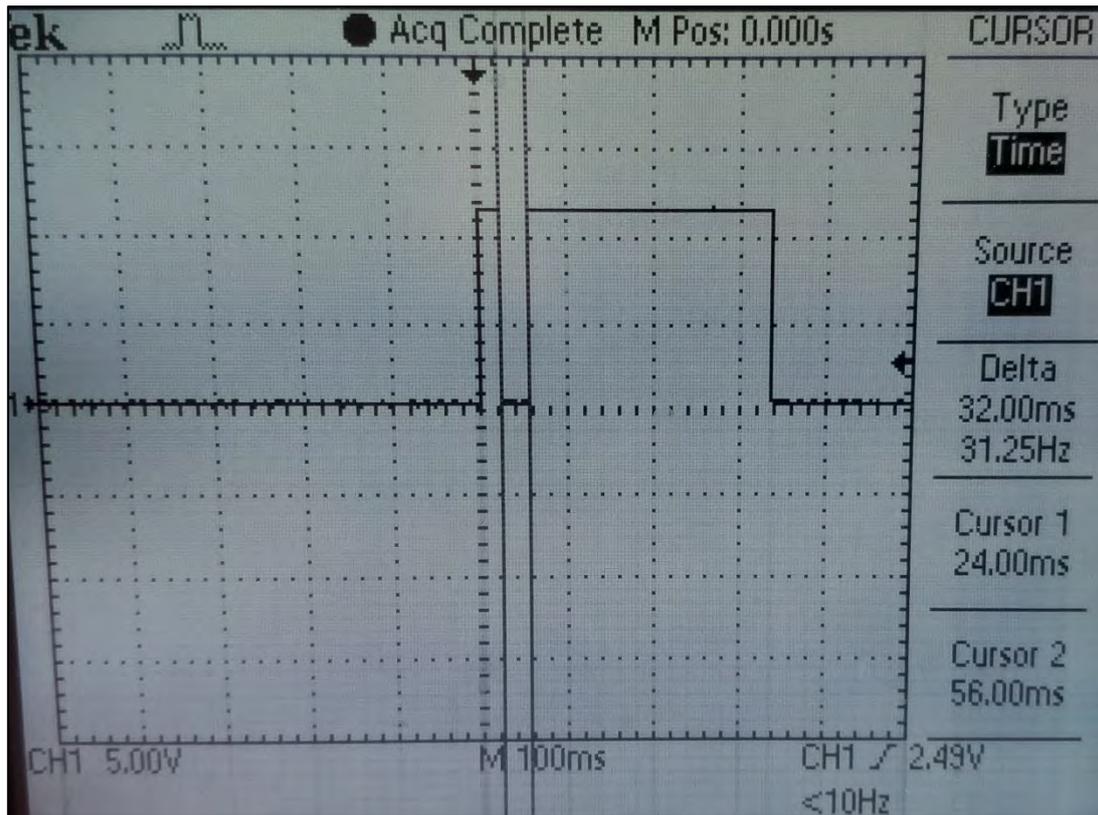


Figura A29. Detección de dos pulsos. Fuente: elaboración propia.

El intervalo de tiempo entre el fin e inicio de ambos pulsos es 32 milisegundos.

c. Orientación a 54°

Finalmente, esta fue la orientación adecuada que se detalló en el capítulo 4. Como se aprecia, fue fundamental realizar estas pruebas para hallar la inclinación del canal en el cual se detecten los cubiertos en su totalidad.

Anexo G

Estructura y mecanismo de entrega de chocolate

Diseño 1

Inicialmente, se almacenan los dulces uno encima de otro dentro de un tubo de aluminio orientado verticalmente como se aprecia en la figura A30.

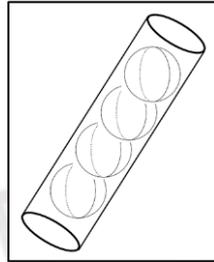


Figura A30. Chocolates dentro de un tubo. Fuente: elaboración propia.

La plataforma circular de la figura A31 contiene cuatro hoyos ubicados a 0° , 90° , 180° y 270° .

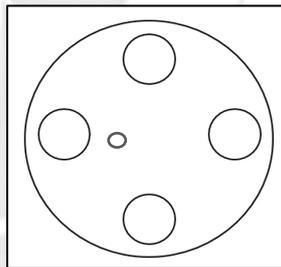


Figura A31. Vista superior de la representación de la plataforma circular. Fuente: elaboración propia.

El tubo de aluminio es colocado perpendicularmente sobre cada hoyo de tal forma de que este objeto no choque con la plataforma. El primer dulce cabe en cada orificio del disco y, mediante un motor, cuyo eje sujeta la plataforma circular, es trasladado hacia un orificio que conecta con un canal para entregar dicho obsequio. Por eso, uno de los cuatro hoyos presentes en el objeto circular no contiene un tubo como se aprecia en la figura A32.



Figura A32. Plataforma adherida al eje del motor. Fuente: elaboración propia.

En resumen, la estructura contendría un motor, tres tubos de aluminio, una plataforma circular y un canal. Finalmente, el chocolate se entrega en la parte inferior del prototipo ya que, como se explicó anteriormente, se desea almacenar el mayor número posible de dulces. Por lo tanto, la longitud del tubo de aluminio debe ser la mayor posible.

Debido a que se cuenta con espacio, se decidió contar con 2 estructuras como se aprecia en la figura A33.



Figura A33. Mecanismo de entrega de chocolate. Fuente: elaboración propia.

Al realizar distintas pruebas, el sistema dispensaba correctamente cada dulce; sin embargo, cuando se formaba un apilamiento de 6 o más dulces en cada uno de los 3 tubos, el disco no giraba debido al peso de la torre de chocolates. Al girar el disco manualmente, estos se

estropeaban como es apreciado en la figura A34, por lo tanto, si el motor tendría el torque suficiente para mover dicha torre, no solucionaba el problema ya que los dulces serían dispensados en un pésimo estado.



Figura A34. Chocolates estropeados. Fuente: elaboración propia.

Entonces, se decide realizar un diseño similar.

Diseño 2

En el diseño 1, el apilamiento de dulces formado en cada tubo siempre estaba en contacto con la plataforma. El disco giraba para dispensar todos los dulces de un tubo, luego los del siguiente y finalmente los del restante (último tubo). En este diseño, además de cambiar el material del disco y mejorar la estructura, se añade la variante de que esta vez, solo 1 tubo estaría en contacto con la superficie. Para eso, se añade un servomotor en dos tubos, el cual contiene en su eje, un tope que habilita la caída del apilamiento de dulces al orificio como se muestra en las figuras A35 a la A39.



Figura A35. Nueva estructura. Fuente: elaboración propia.

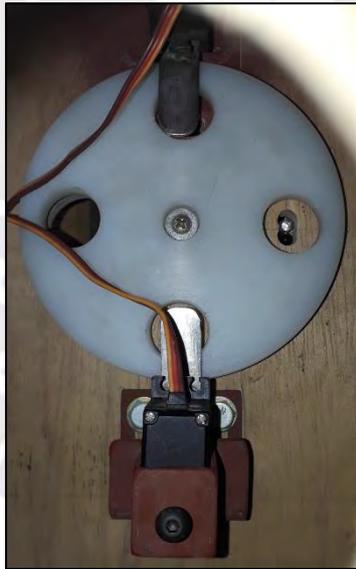


Figura A36. Disco de plástico. Fuente: elaboración propia.



Figura A37. Servomotor con tope. Fuente: elaboración propia.



Figura A38. Disco, tubos, servomotor y dulces. Fuente: elaboración propia.

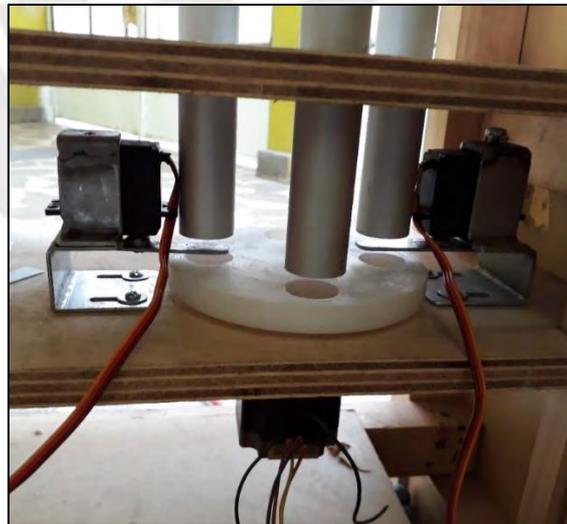


Figura A39. Diseño 2. Fuente: elaboración propia.

De esta manera, el motor dispensaba correctamente los dulces pero como máximo 10 en cada tubo. Es decir, primero dispensa los 10 dulces del tubo del medio, después se habilita cualquiera de los otros 2 tubos. Para eso, el tope se mueve hacia su posición de trabajo. Luego, se dispensa

los 10 dulces de ese tubo, el tope del servomotor vuelve a su posición base y, por último, el mismo proceso para los 10 dulces del tubo restante.

No obstante, el problema radicó en que el motor no giraba cuando el tubo contenía más de 12 dulces en promedio. Además, el espacio entre el disco y el tubo aumentó debido a que entre estos 2, se encontraba ahora el tope. Entonces, al mover el tope hacia la posición de trabajo, el primer dulce cabía en el orificio, pero el segundo ya no era cubierto por el tubo como en el diseño 1, esto dificultó la rotación del disco para un apilamiento de muchos dulces. Por ello, se descartó este diseño.

Diseño 3

En este caso, un motor paso a paso se encargará de dispensar los dulces al contener un disco metálico en su eje como se muestra en la figura A40 y A41.



Figura A40. Disco metálico. Fuente: elaboración propia.

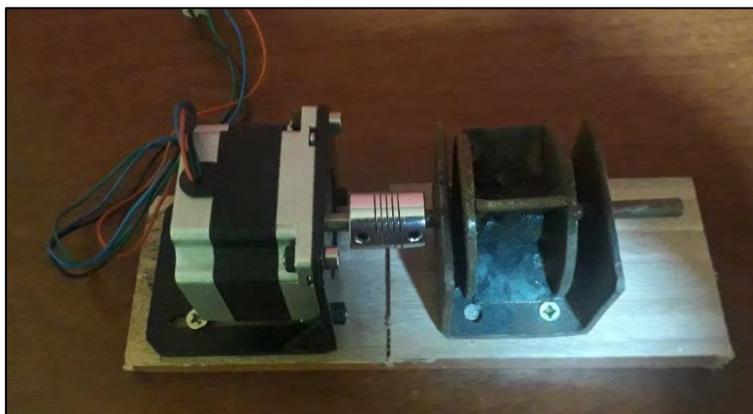


Figura A41. Motor paso a paso. Fuente: elaboración propia.

Los dulces se alojan en una plataforma inclinada y el motor se sitúa después de esta. Entonces, al girar una cantidad de pasos, se dispensaría un dulce como se muestra en la figura A42.



Figura A42. Diseño 3. Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, se debía encontrar el ángulo ideal de inclinación de la plataforma para que los dulces caigan exactamente en uno de los espacios del disco. Luego, los pasos girados por el motor no era siempre el mismo para dispensar cada dulce, por lo que, podría dispensar correctamente un dulce y el siguiente, pero después no entregaba el dulce que continuaba. Se decidió probar otro diseño similar, manteniendo una plataforma inclinada.

Diseño 4

En este caso, la plataforma sería un embudo que arrojaría algunos dulces hacia otro embudo pequeño mediante un motor, este formaría un apilamiento de chocolates y así, mediante el disco unido a un motor paso a paso, dispensaría el obsequio. El diseño se muestra en la figura A43.



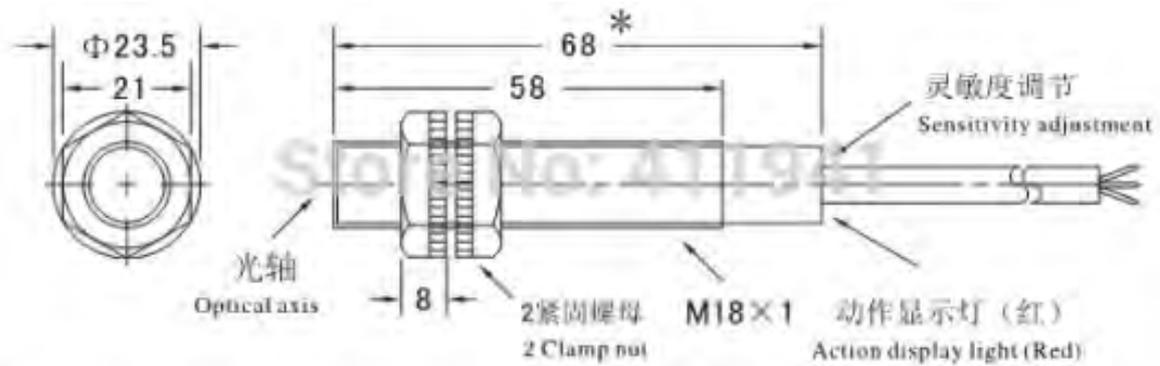
Figura A43. Diseño 4. Fuente: elaboración propia.

Si bien el diseño de arrojar los dulces hacia un embudo para que luego, estos sean dispensados por el disco funcionaba correctamente, el motor localizado en el embudo morado no lograba arrojar los dulces correctamente ya que los chocolates se atascaban en el cuello, por lo tanto, era necesario mover los dulces para evitar dicho atasco, observación que se tuvo en cuenta en el diseño final.

Anexo H

Hoja de datos del sensor infrarrojo E3F-R2N12

En la figura A44 se aprecia las características de dicho sensor.



Nombre del producto	Interruptor fotoeléctrico
modelo	E3F-R2N12
Distancia de detección	2m±10%
Tensión De trabajo	6-36 V DC
objetivo de la detección	opaco
salida	NPN 3 hilos NO + NC
Temperatura ambiente	de funcionamiento:-20 a 55 Grados almacenamiento:-30 a 70 Grados
Tiempo de respuesta	1 ms
Corriente de salida:	300mA
tamaño	18mm
circuito de protección	protección reversa de la conexión. absorción de picos. carga de protección contra cortocircuitos
fuentes	λ number nm de luz infrarroja
Material de la corteza	ABS

Figura A44. Hoja de datos del sensor E3F-R2N12 [66].

Anexo I

Características del sensor infrarrojo para la detección de bandejas

- Tensión de alimentación: 3.3v - 5v.
- Rango de detección: 2cm a 30cm.
- Alta sensibilidad.
- Ajuste de sensibilidad mediante potenciómetro.
- Rápida respuesta.
- Ángulo de detección: 35°.
- Salida digital
- Temperatura de funcionamiento: -25°C a +85°C [67].



Anexo J

Hoja de datos del sensor inductivo LJ30A3-15-Z/BY

En la figura A45 se muestra las características de dicho sensor.

Model number	LJ30A3-15 series
External dimensions	M30x75
Installation type	Non-shielded
Detection distance	15mm
Setting distance	0-12 mm
Supply voltage	6-36Vdc; 5Vdc; 90-250Vac, 50/60Hz
Output current	DC type: 300mA max; AC Type: 400mA
Standard detected object	Mild steel (18x18x1mm)
Sensing object	Magnetic metals (if it is not magnetic metals, the sensing distance would decrease)
Response frequency	500Hz
Output indication	Red LED
Short-circuit protection	Yes
Reverse connection protection	Yes
Insulation resistance	50M Ω min (between charging part and housing)
Dielectric strength	1000Vac, 1min (between charging part and housing)
IP Rating	IP67
Operating temperature	-25 to 70 °C (13 to 158 °F)
Cable length	1.2m, PVC cable
Material	Case: Brass-nickel plated; Sensing surface: ABS

Figura A45. Hoja de datos del sensor LJ30A3-15-Z/BY [68].

Anexo K

Hoja de datos del módulo nRF24L01

En la figura A46 se muestra las características de dicho módulo.

Specification	
Specification	Value
PCB Size	15mm*29mm*0.8mm
Power supply	1.9V~3.6V
Working current	13.5mA at 2Mbps / 11.3mA at 0dBm output power
IO counts	8
Sensitivity	-85dBm at 1Mbps
Emission distance	70~100 meter at 256kbps
Data rate	256kbps / 1Mbps / 2Mbps
Communication mode	Enhanced ShockBurst TM / ShockBurst TM
Working mode	Power Down Mode / Standby Mode / RX Mode / TX Mode
Temperatures	Operating:-40°C ~ 85°C / Storage:-40°C ~ 125°C

Pin definition and Rating	
1 GND	2 VCC
3 CE	4 CSN
5 SCK	6 MOSI
7 MISO	9 IRQ

Figura A46. Hoja de datos del módulo nRF24L01 [65].

Anexo L

Hoja de datos del módulo NRF24L01+PA+LNA

En la figura A47 se muestra las características de dicho módulo.

Features

- Voltage: 3-3.6V (recommended 3.3V) V
- Maximum output power: +20dBm
- Emission mode current(peak): 115mA
- Receive Mode Current(peak): 45mA
- Power-down mode current: 4.2uA
- Sensitivity 2Mbps mode in received: -92dBm
- Sensitivity 1Mbps mode in received: -95dBm
- Sensitivity 250kbps mode in received: -104dBm
- PA gain: 20DbLNA gain: 10Db
- LNA Noise figure: 2.6Db
- Antenna Gain (peak): 2Dbi
- 2MB rate (Open area): 520m
- 1MB rate (Open area): 750m
- 250Kb rate (Open area): 1000m

Specification

- Module Type: Wireless
- Weight: 25.00g
- Board Size: 4.6 x 1.7 x 1.2cm
- Version: 1
- Operation Level: Digital 5V
- Power Supply: External 5V

Figura A47. Hoja de datos del módulo nRF24L01+PA+LNA [65].

Anexo M

Hoja de datos del driver A4988

En la figura A48 se muestra las conexiones de dicho driver y en la figura A49, su hoja de datos.

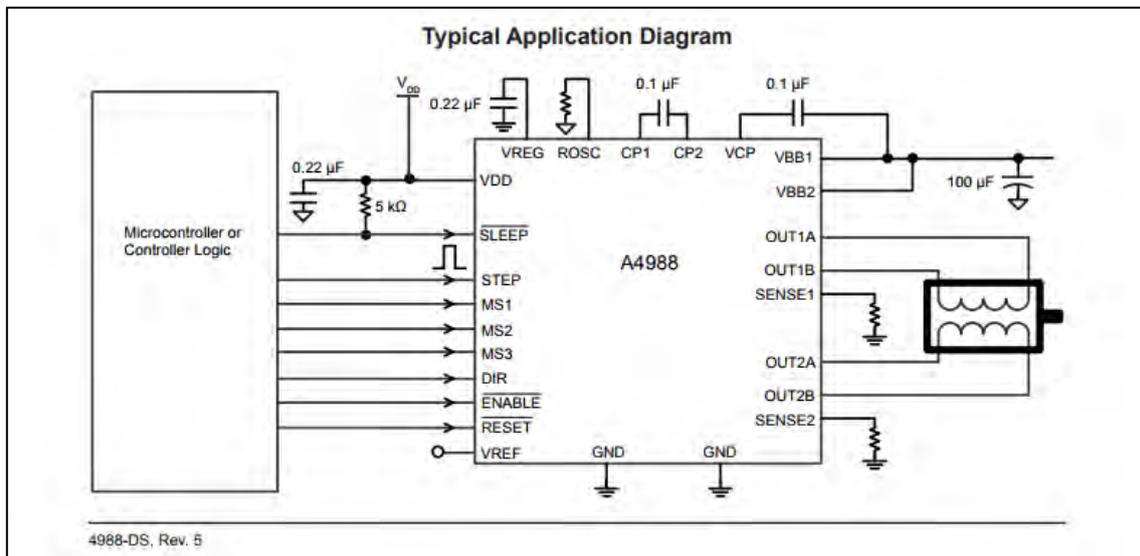


Figura A48. Driver A4988 [64].

ELECTRICAL CHARACTERISTICS¹ at T_A = 25°C, V_{BB} = 35 V (unless otherwise noted)

Characteristics	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ. ²	Max.	Units
Output Drivers						
Load Supply Voltage Range	V _{BB}	Operating	8	–	35	V
Logic Supply Voltage Range	V _{DD}	Operating	3.0	–	5.5	V
Output On Resistance	R _{DS(on)}	Source Driver, I _{OUT} = –1.5 A	–	320	430	mΩ
		Sink Driver, I _{OUT} = 1.5 A	–	320	430	mΩ
Body Diode Forward Voltage	V _F	Source Diode, I _F = –1.5 A	–	–	1.2	V
		Sink Diode, I _F = 1.5 A	–	–	1.2	V
Motor Supply Current	I _{BB}	f _{PWM} < 50 kHz	–	–	4	mA
		Operating, outputs disabled	–	–	2	mA
Logic Supply Current	I _{DD}	f _{PWM} < 50 kHz	–	–	8	mA
		Outputs off	–	–	5	mA
Control Logic						
Logic Input Voltage	V _{IN(1)}		V _{DD} × 0.7	–	–	V
	V _{IN(0)}		–	–	V _{DD} × 0.3	V
Logic Input Current	I _{IN(1)}	V _{IN} = V _{DD} × 0.7	–20	<1.0	20	μA
	I _{IN(0)}	V _{IN} = V _{DD} × 0.3	–20	<1.0	20	μA
Microstep Select	R _{MS1}	MS1 pin	–	100	–	kΩ
	R _{MS2}	MS2 pin	–	50	–	kΩ
	R _{MS3}	MS3 pin	–	100	–	kΩ
Logic Input Hysteresis	V _{HYS(IN)}	As a % of V _{DD}	5	11	19	%
Blank Time	t _{BLANK}		0.7	1	1.3	μs
Fixed Off-Time	t _{OFF}	OSC = VDD or GND	20	30	40	μs
		R _{OSC} = 25 kΩ	23	30	37	μs
Reference Input Voltage Range	V _{REF}		0	–	4	V
Reference Input Current	I _{REF}		–3	0	3	μA
Current Trip-Level Error ³	err _I	V _{REF} = 2 V, %I _{TRIPMAX} = 38.27%	–	–	±15	%
		V _{REF} = 2 V, %I _{TRIPMAX} = 70.71%	–	–	±5	%
		V _{REF} = 2 V, %I _{TRIPMAX} = 100.00%	–	–	±5	%
Crossover Dead Time	t _{DT}		100	475	800	ns
Protection						
Overcurrent Protection Threshold ⁴	I _{OCPST}		2.1	–	–	A
Thermal Shutdown Temperature	T _{TSD}		–	165	–	°C
Thermal Shutdown Hysteresis	T _{TSDHYS}		–	15	–	°C
VDD Undervoltage Lockout	V _{DDUVLO}	V _{DD} rising	2.7	2.8	2.9	V

Table 1: Microstepping Resolution Truth Table

MS1	MS2	MS3	Microstep Resolution	Excitation Mode
L	L	L	Full Step	2 Phase
H	L	L	Half Step	1-2 Phase
L	H	L	Quarter Step	W1-2 Phase
H	H	L	Eighth Step	2W1-2 Phase
H	H	H	Sixteenth Step	4W1-2 Phase

Figura A49. Hoja de datos del driver A4988 [64]

Anexo N

Hoja de datos del sensor capacitivo analógico BCW0001

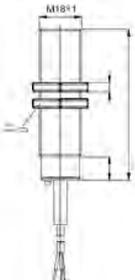
En la figura A50 se muestra las características de dicho sensor.

**Capacitive Sensor for
Analog Distance Measurement**
Standard sensor, cylinder design, DC 3-wire, M18×1





Size	M18×1
Installation type	Flush
Measuring range	0...8 mm
Output current	4...20 mA
PNP/NPN and NO/NC codable	Ordering code BCW0001
	Part number BCW M18B4M1-ICM80C-DV02
Supply voltage U _S	12...35 V DC
Rated insulation voltage U _i	75 V DC
No-load supply current I ₀ max.	< 17 mA
Polarity reversal protected/transposition protected/short-circuit protected	Yes/Yes/Yes, with load monitoring
Ambient temperature T _a	-10...+55 °C
Switching frequency f	100 Hz (3 dB limit frequency)
Supply voltage/output function indicator	Green LED/Red LED
Degree of protection as per IEC 80529	IP 67
Material	Housing: Stainless steel Sensing surface: PBT
Connection	2 m PVC cable, 3×0.25 mm ²



Applications
The capacitive analog sensor makes linear evaluation of a position possible for the first time; as soon as an object is located within the sensor's measuring range, a precise output current is produced. The uses shown represent only a fraction of the multifaceted application options provided by the capacitive analog sensor.



Material selection



Measuring nonmetallic coating thicknesses



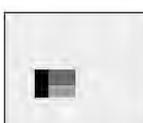
Product thickness monitoring



Height measurement



Determining diameters



Static/dynamic movement



Registering radial runout



Concentricity and eccentricity



Axial and radial concentricity deviation



Monitoring fit



Capacitive Sensor for Analog Distance Measurement
M18x1
Cylinder Design

Figura A50. Hoja de datos del sensor BCW0001 [69].

Anexo O

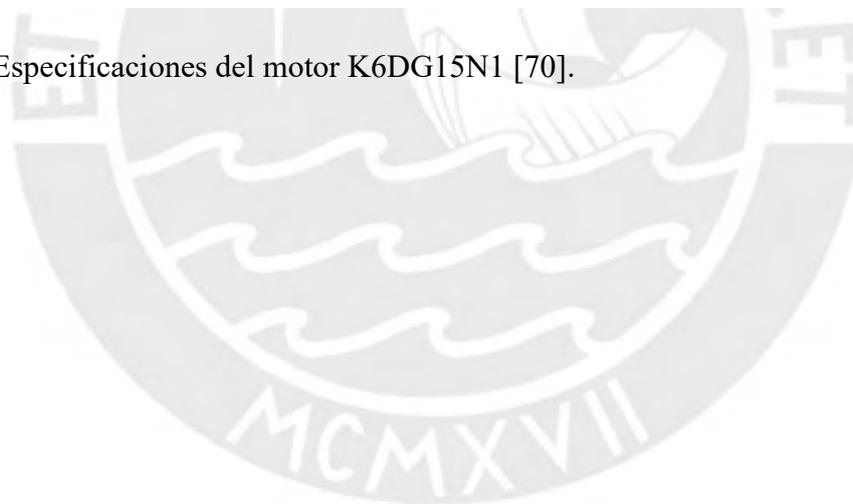
Hoja de datos del motor de corriente continua K6DG15N1

En la figura A51 se muestra las especificaciones de dicho motor y en las figuras A52 y A53, su hoja de datos.

SPECIFICATIONS							
Model	Output (W)	Voltage (V)	RATED			Start T. (N·m/kgf·cm)	Starting Current (A)
			Speed (rpm)	Torque (N·m/kgf·cm)	Current (A)		
K6D□6N1	6	12	3000	0.02/0.2	1.1	0.16/1.6	8
K6D□6N2		24			0.6	0.17/1.7	5
K6D□6N3		90			0.1	0.19/1.9	1
K6D□15N1	15	12		0.05/0.5	2.6	0.31/3.1	17
K6D□15N2		24			1.2	0.42/4.2	11
K6D□15N3		90			0.3	0.4/4.0	3

* □ : SHAFT 형상 (S : STRAIGHT, G : PINION)

Figura A51. Especificaciones del motor K6DG15N1 [70].



GGM

Thank you for buying GGM products.
Before use this product, read well manual certainly and understand all about knowledge, safety information and cautions of product, and use right way. After read, please be sure to keep fixed place to refer anytime.

Manual GEAR HEAD

1. Confirmation at product arrival

Open box packaging and make sure that all of the parts are equipped as follows:

- GEAR HEAD - 1 unit
- KEY - 1 piece (exception for D-CUT)
(There is not included that is not key spline processing at output shaft)
- BOLT for mounting, NUT, SPRING WASHER, flat WASHER - 4 pieces
(There are not included NUT in K9P□BU, K9P□BUF)
- Manual(This booklet) - 1 copy

2. Caution at use

- Please confirm model name of GEAR HEAD and MOTOR.
- Confirm MOTOR and GEAR HEAD that is possible to assemble.
- Please take care and assemble MOTOR SHAFT not to be damaged when assemble MOTOR.

MOTOR DECIMAL GEARHEAD GEARHEAD



- Assembly is possible only when FLANGE SIZE and GEAR HEAD TYPE are same.
- Use DECIMAL GEAR HEAD only in occasion that RATIO is more than 1/200.
- Use mounting BOLT in parts when install MOTOR and GEAR HEAD.

Install and use at following places.

- In places of ambient temperature -10~40°C, humidity fewer than 85%
- Direct ray of light, water and oil are less places
- Places where vibration and impact are small
- Places where flammable GAS, corrosive GAS are not generated.

5. Accessory specification

Applicable MOTOR	GEAR HEAD Name	KEY SIZE	Mounting BOLT		Mounting holes reference dimensions			
			Standards	Kinds	ØA	ØB	C	4-ØD
□60 6W	K8G3~18B(C)	-	M4 x P0.7 x 50	Round-head bolt	70	24	10	4.5
	K8G20~250B(C)	-	M4 x P0.7 x 60		70	24	10	4.5
	K8G10BX	-	M4 x P0.7 x 85		70	-	-	4.5
□70 15W	K7G3~18B(C)	4x4x25-1R	M5 x P0.8 x 50		82	30	15	5.5
	K7G20~200B(C)	4x4x25-1R	M5 x P0.8 x 65		82	30	15	5.5
	K7G10BX	-	M5 x P0.8 x 90		82	-	-	5.5
□80 25W	K8G3~18B(C)	4x4x25-1R	M5 x P0.8 x 50	Hexagonal socket-head bolt	94	34	15	5.5
	K8G20~250B(C)	4x4x25-1R	M5 x P0.8 x 65		94	34	15	5.5
	K8G10BX	-	M5 x P0.8 x 95		94	-	-	5.5
□90 40W	K9G3~18B(C)	4x4x25-1R	M6 x P1.0 x 65		104	36	18	6.5
	K9G20~200B(C)	4x4x25-1R	M6 x P1.0 x 80		104	36	18	6.5
	K9G10BX	-	M6 x P1.0 x 120		104	-	-	6.5
□90 60~120W	K9P3~200B	5x5x25-1R	M6 x P1.0 x 95	Hexagonal socket-head bolt	110	36	18	6.5
	K9P3~200BF	5x5x25-1R	M6 x P1.0 x 25		110	36	18	6.5
□90 150~200W	K9P3~200BU	5x5x25-1R	M6 x P1.0 x 20		104	40	18	6.5
	K9P3~200BUF	5x5x25-1R			110	36	18	6.5
□90 60~200W	K9P10BX	-	M6 x P1.0 x 140		104	-	-	6.5

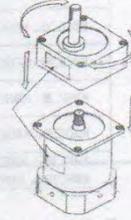
A that is attachment hole dimension of □90 type FLANGE TYPES (goods ended product name by BF, BUF jis displayed as horizontal direction distance(110) x vertical direction distance(36).

3. How to assemble GEAR HEAD MOTOR

- Assemble MOTOR and GEAR HEAD adjusting assembling surfaces as like figure and turning reducer gently.

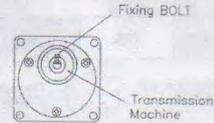
- If apply excessive force to MOTOR SHAFT or when it comes to GEAR HEAD inside, abnormal sounds is produced and life-time is fallen by damage of GEAR so that please pay attention especially when do assembling.

When assemble GEAR HEAD of MOTOR, use BOLT in accessories without niche between assembling surfaces

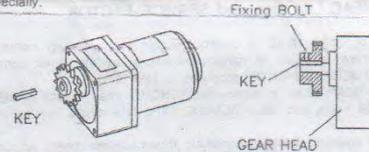


4. How to fix the load

- There are KEY grooving processing and □D-CUT processing (K6G) to fix the load on the output shaft.
- In case it is D-CUT processing, fix firmly using fixing BOLT to avoid slip the load on processing PART of D-CUT.
- In case of KEY groove processing, fix using accessories KEY by processing KEY groove on transmission mechanic such as CHAIN, PULLEY, SPROCKET etc..

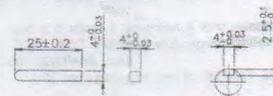


- If apply impact when fix transmission mechanic to GEAR HEAD output shaft, it may cause damage of GEAR HEAD and shortening of lifespan so that keep in mind especially.



■ Measurement of KEY and KEY Groove

- 70, □80, □90 40W



- 90 60~200W



■ Mounting HOLE reference Drawing

- ØB is SIZE of the product appearance.
- Please make hole with enough space.

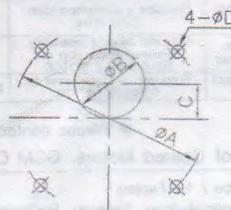


Figura A52. Hoja de datos motor K6DG15N1 [71].

6. Direction of rotation and transmission efficiency of GEAR HEAD

- There are same direction and opposite direction against MOTOR of rotational direction of GEAR HEAD output shaft by deceleration ratio.
- In case use DECIMAL GEAR HEAD (1/10), it is the same as direction of rotation of a MOTOR unit.

Rotational Direction of GEAR HEAD

Model Name of GEAR HEAD	Moderation Ratio	
	Same direction with MOTOR	Opposite direction with MOTOR
K6G□B, K6G□C	3 ~ 18	20 ~ 40
	50 ~ 200	
K7G□B, K7G□C	3 ~ 18	20 ~ 40
	50 ~ 200	
K8G□B, K8G□C	3 ~ 18	20 ~ 40
	50 ~ 200	
K9G□B, K9G□C	3 ~ 18	20 ~ 40
	50 ~ 200	
K9P□B, K9P□BF	3 ~ 10	12.5 ~ 20
K9P□BU, K9P□BUF	25 ~ 60	75 ~ 200

Transmission Efficiency of GEAR HEAD

Model Name	3-10	12.5-18	20	25-40	50	60	75-200
K6G□B(C)							
K7G□B(C)		61%		73%			66%
K8G□B(C)							
K9G□B(C)							
K9P□B, BF	81%	73%		66%			59%
K9P□BU, BUF							

Same direction with MOTOR (shaded) Opposite direction with MOTOR (white)

* Output TORQUE after assemble GEAR HEAD is TORQUE of MOTOR x GEAR HEAD Moderation Ratio x transmission efficiency of GEAR HEAD

7. GEAR HEAD Life time and SERVICE FACTOR

- Life-time of GEAR HEAD is usually decided by supporting method of shaft, but there is a lot of hanging situations so that uses generally coefficient of SERVICE FACTOR according to kind of load.
 - When use GEAR HEAD in Allowances TORQUE, rated lifetime of METAL TYPE is 2000 hours and BALL BEARING TYPE is available to use up to 5000 hours.
 - In case of operated following condition, Rated Lifetime means amount of time just before stop of GEAR HEAD because MOTOR TORQUE was impossible to pass to GEAR HEAD-output shaft.
 1. In case of used within Allowances TORQUE
 2. In case of load operation without any load change in a certain direction
 3. Occasion that is operating 8 hours in a day
 4. BEARING temperature - METAL TYPE : 50°C
BALL BEARING : 80°C
- SERVICE FACTOR of this occasion says sf=1

If operate GEAR HEAD of BALL BEARING TYPE 24 hours a day, SERVICE FACTOR amounts becomes as 1.5 so that lifetime is decreased as 1/1.5. Therefore, use selecting the largest Allowances TORQUE and GEAR HEAD considering SERVICE FACTOR.

(Table 1) SERVICE FACTOR and Examples of loads

Kind of Load	Examples of loads	SERVICE FACTOR		
		5hr/day	8hr/day	24hr/day
General load	BELT CONVEYOR At continuous operation to one direction	0.8	1.0	1.5
Light shock load	Frequent starting/operation, CAM drive	1.2	1.5	2.0
Medium shock load	Frequent reverse operation, instantaneous stop of REVERSIBLE MOTOR	1.5	2.0	2.5
Heavy shock load	Frequent moment arrest by TORQUE MOTOR	2.0~2.5	2.5~3.0	3.0~3.5

* Please contact your dealer or our 2nd factory for Product inquiries and A/S request

Leader of Geared Motors. GGM CO.,LTD.

Head Office / 1st Factory
327-3 Songnae-dong, Sosa-gu, Bucheon-si, Gyeonggi-do
TEL : +82-32-824-7700 FAX : +82-32-814-7701

8. The maximum Allowances TORQUE of GEAR HEAD

- Output TORQUE of GEAR HEAD increases proportionally depending on the amount of deceleration ratio, but load TORQUE applying to GEAR HEAD is limited depending on GEAR material and other conditions.
- This is called as the maximum Allowances TORQUE that is prescribed by size of GEAR HEAD, deceleration ratio so that use in Allowances TORQUE range.

9. OVERHANG load and THRUST load

- OVERHANG load means load that is applying to right angle direction on output shaft where escaped supporting devices of more than 2 places, and THRUST load means load that is applying on output shaft.
- In case of use transmission mechanics such as CHAIN, toothed wheel, BELT etc. in GEAR HEAD output shaft, there is applying OVERHANG load. (Figure 1)
- OVERHANG load acts as load directly to GEAR HEAD and influences to reduce life-time.
- OVERHANG load can save by following way.

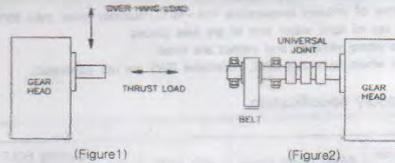
$$W = \frac{KxTxf}{r} \text{ [Kg]}$$

- W : OVERHANG Load
- K : Load factor by operating method (Table 2)
- T : Transmitting power in GEAR HEAD output shaft [kg-cm]
- f : SERVICE FACTOR (Table 2)
- r : effective radius[cm] of toothed wheel, PULLEY etc.

(Table 2) Load factor by operating method

operating method	K
CHAIN, SPROCKET	1
toothed wheel	1.25
V-BELT	1.5
PLATE-BELT	2.5

- When use calculated OVERHANG load values exceeding the tolerance (Table 3), there occurs damage and flexure of output shaft in short perlo. Pay attention because bring fatigue damage by repeated load.
- In such a case, should be installed with structure that can bear to OVERHANG load and(Figure 2).
- OVERHANG Load and THRUST Load cause big effect on BEARING life-time that please use within allowances referring table below.
- In case of use HELICAL GEAR, WORM GEAR for transmission mechanic, use not to exceed allowable value of OVERHANG load and also THRUST load at the same time.



(Figure1) (Figure2)

(Table 3) Allowances OVERHANG load and Allowances THRUST load

Model Name	Moderation Ratio	Maximum Allowances TORQUE (kg-cm)	Allowances OVERHANG Load(kg)	Allowances THRUST Load(kg)
K6G□B	3~18	1~6	5	3
	20~250	6~30	12	
K7G□B	3~18	3~18	8	4
	20~200	2~50	15	
K8G□B	3~18	2~25	10	5
	20~250	30~80	20	
K9G□B	3~18	4~40	25	10
	20~200	40~180	30	
K9P□B	3~9	8~40	40	15
	12.5~20	40~80	45	
K9P□BF	25~60	50~200	50	15
	75~200			
K9P□BU	3~200	18~300	40	15

*Caution : Maximum Allowances TORQUE differs according to deceleration ratio. Use within Allowances TORQUE according to fit in each deceleration ratio. METAL BEARING TYPE (labeled "M" products in names) allowed OVERHANG Load the value should be used in less than 70% of above value.

Figura A53. Hoja de datos del motor K6DG15N1 [71].

Anexo P

Hoja de datos del sensor inductivo tipo anillo NAMUR SIA 63-CE PNP NO+NC HR

En la figura A54 se muestra las características de dicho sensor.



Figura A54. Hoja de datos del sensor NAMUR [72].

Anexo Q

Circuito impreso del prototipo (emisor)

En la figuras A55 y A56 se muestra el PCB del prototipo.

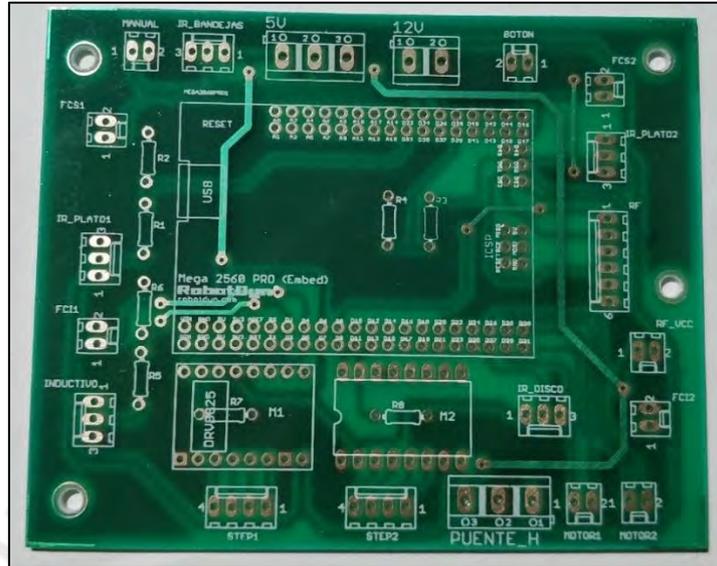


Figura A55. Circuito impreso, lado frontal. Fuente: elaboración propia.

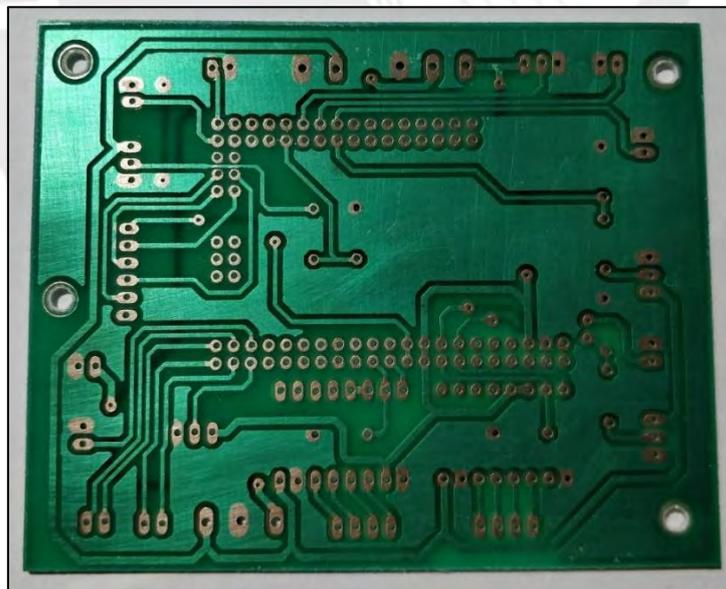


Figura A56. Circuito impreso, lado posterior. Fuente: elaboración propia.

Anexo R

Circuito del receptor

En la figura A57 se muestra la tarjeta y conexiones del receptor.

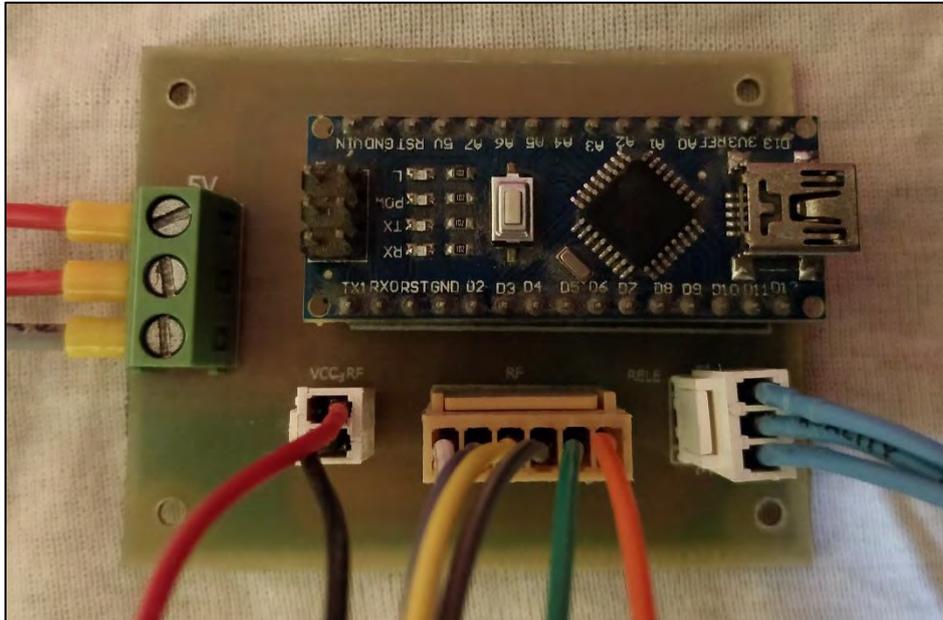


Figura A57. Tarjeta del receptor. Fuente: elaboración propia.

Anexo S

Código del prototipo (emisor)

```
#include <SPI.h> // Librería para la comunicación SPI
// Librerías para el funcionamiento del módulo NRF24L01
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#include <RF24_config.h>

// Declaramos los pines de control del módulo NRF24L01
#define CE 9
#define CSN 53 //10

// Se crea el objeto tipo RF24
RF24 radio(CE, CSN);

// Se declara el canal para la transmisión RF
const uint64_t canal = 0xE8E8F0F0E1LL;

// Variable que enviamos mediante RF
unsigned int datos[2];

// Stepper 1 (A4988)
const int stepper1 = 5;
const int stepper1_dir = 3;

// Stepper 2 (DRV8825)
const int stepper2 = 13;
const int stepper2_dir = 11;

int retardo = 5;
int i,j;
int premio = 0;
int juego; // Variable que guarda el número aleatorio para el juego

// IR disco
const int disco = 27;

// Motor 1: plato entrada
const int motor1_1 = 29;
const int motor1_2 = 31;
const int fcs1 = 32;
const int fci1 = 4;

// Motor 2: plato segundo
const int motor2_1 = 30;
const int motor2_2 = 28;
const int fcs2 = 47;
const int fci2 = 26;

// Plato 1: entrada
const int platol = 33;
int lectura_platol;

// Plato 2
const int plato2 = 39;
int lectura_plato2;

// Bandejas
```

```

const int bandeja = 36;
int lectura_bandeja;
// Cubiertos
const int cubierto = 2;
int lectura_cubierto;
int contador_cubierto = 0;

// Banderas
int bandera_cubierto = 0;
int bandera_plato1 = 0;
int bandera_plato2 = 0;
int bandera_bandeja = 0;

// Pulsadores
const int boton1 = 46; // Botón principal: dar inicio al juego
const int boton2 = 34; // Botón para ascender los platos

unsigned long tiempo1;

void setup()
{
  // Botón1
  pinMode(boton1, INPUT_PULLUP);
  // Botón2
  pinMode(boton2, INPUT_PULLUP);
  // Plato1: entrada
  pinMode(plato1, INPUT);
  // Plato2: segundo
  pinMode(plato2, INPUT);
  // Bandeja
  pinMode(bandeja, INPUT);
  // Cubiertos
  pinMode(cubierto, INPUT);
  // Motores paso a paso
  pinMode(stepper1, OUTPUT); // Se encarga de girar el disco para
                             dispensar los dulces
  digitalWrite(stepper1, LOW);
  pinMode(stepper1_dir, OUTPUT); // Sentido de giro
  digitalWrite(stepper1_dir, LOW); // Horario
  pinMode(stepper2, OUTPUT); // Se encarga de mover los dulces para que
                             caigan en el disco
  digitalWrite(stepper2, LOW);
  pinMode(stepper2_dir, OUTPUT); // Sentido de giro
  digitalWrite(stepper2_dir, LOW); // Horario

  // Motores DC
  pinMode(motor1_1, OUTPUT);
  pinMode(motor1_2, OUTPUT);
  pinMode(motor2_1, OUTPUT);
  pinMode(motor2_2, OUTPUT);

  pinMode(fcs1, INPUT_PULLUP); // final de carrera superior 1
  pinMode(fci1, INPUT_PULLUP); // final de carrera inferior 1
  pinMode(fcs2, INPUT_PULLUP); // final de carrera superior 2
  pinMode(fci2, INPUT_PULLUP); // final de carrera inferior 2

  digitalWrite (motor1_1, LOW);
  digitalWrite (motor1_2, LOW);
  digitalWrite (motor2_1, LOW);
  digitalWrite (motor2_2, LOW);

```

```

// Prender nRF24L01
radio.begin(); // Inicialización de la comunicación RF
radio.setDataRate (RF24_1MBPS);
radio.setPALevel(RF24_PA_MIN);
radio.openWritingPipe(canal); // Se abre el canal para escritura
}

// Funciones

void radiof_off() // Indicador luminoso apagado
{
  datos[0] = 0;
  radio.write(&datos, sizeof(datos));
}

void platos_llenos_rf() // Indicador luminoso parpadeando
{
  datos[0] = 1;
  radio.write(&datos, sizeof(datos));
}

void no_hay_dulces_rf() // Indicador luminoso encendido
{
  datos[0] = 2;
  radio.write(&datos, sizeof(datos));
}

// Motor 1
void apagado_motor1 ()
{
  digitalWrite (motor1_1, LOW);
  digitalWrite (motor1_2, LOW);
}

void subida_motor1 ()
{
  digitalWrite (motor1_1, HIGH);
  digitalWrite (motor1_2, LOW);
  delay(100);
}

void bajada_motor1 ()
{
  digitalWrite (motor1_1, LOW);
  digitalWrite (motor1_2, HIGH);
  delay(100);
}

// Motor 2
void apagado_motor2 ()
{
  digitalWrite (motor2_1, LOW);
  digitalWrite (motor2_2, LOW);
}

void subida_motor2 ()
{
  digitalWrite (motor2_1, LOW);
  digitalWrite (motor2_2, HIGH);
}

```

```

    delay(100);
}
void bajada_motor2 ()
{
    digitalWrite (motor2_1, HIGH);
    digitalWrite (motor2_2, LOW);
    delay(100);
}

void mover_dulces () //A4988
{
    digitalWrite(stepper2_dir, HIGH); // Sentido antihorario
    for(j=1;j<=50;j++) // 50, 90°
    {
        digitalWrite(stepper2, HIGH);
        delay(retardo);
        digitalWrite(stepper2, LOW);
        delay(retardo);
    }
}

void dispensar () //DRV8825
{
    digitalWrite(stepper1_dir, HIGH); // Sentido antihorario
    for(i=1;i<=100;i++) // 100, 90°
    {
        digitalWrite(stepper1, HIGH);
        delay(retardo);
        digitalWrite(stepper1, LOW);
        delay(retardo);
    }
}

void lectura_los_4()
{
    lectura_plato1 = digitalRead(plato1);
    lectura_plato2 = digitalRead(plato2);
    lectura_bandeja = digitalRead(bandeja);
    lectura_cubierto = digitalRead(cubierto);

    // Plato 1
    if(lectura_plato1 == HIGH)
    {
        bandera_plato1 = 1;
    }

    // Plato 2
    if(lectura_plato2 == HIGH)
    {
        bandera_plato2 = 1;
    }

    // Bandeja
    if(lectura_bandeja == LOW)
    {
        bandera_bandeja = 1;
        delay(300); // Se agrega este retardo para evitar leer 2 pulsos
        while (lectura_bandeja == LOW)
        {
            lectura_bandeja = digitalRead(bandeja);
        }
    }
}

```

```

}

// Cubierto
if(lectura_cubierto == HIGH)
{
    contador_cubierto++;
    delay(300); // Se agrega este retardo para evitar leer 2 pulsos
    while (lectura_cubierto == HIGH)
    {
        lectura_cubierto = digitalRead(cubierto);
    }
    if (contador_cubierto == 2) // Son 2 cubiertos: tenedor y cuchillo
    {
        bandera_cubierto = 1;
        contador_cubierto = 0;
    }
}
}

void banderas_activadas()
// En caso se depositen los 4 elementos, se otorga la oportunidad de ganar
un dulce
{
    if ((bandera_plato1 == 1) && (bandera_plato2 == 1) && (bandera_cubierto
== 1) && (bandera_bandeja == 1))
    {
        premio = 1;
    }
}

void desactivar_banderas() // Reinicio de los depósitos
{
    bandera_plato1 = 0;
    bandera_plato2 = 0;
    bandera_bandeja = 0;
    bandera_cubierto = 0;
}

void dar_dulce() // Entrega un dulce en caso gane el juego
{
    juego = random (1,4); // Juego aleatorio
    if (juego == 2)
    {
        if (premio == 1) // Depósito de los 4 elementos
        {
            if (digitalRead(disco) == LOW) // Si hay algún dulce en el disco
            {
                dispensar();
                premio = 0;
            }
            else // Si no hay ningún dulce en el disco, moverá los dulces que
                están almacenados en la plataforma
            {
                tiempo1 = millis(); // Empieza a contar el tiempo
                while((digitalRead(disco) == HIGH) && (premio == 1))
                // Mientras no haya dulce en el disco
                {
                    if (millis() - tiempo1 <= 5000) // Dentro de los primeros 5
                        segundos
                    {
                        mover_dulces();
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        delay(200);
    }
    else // Si pasaron 5 segundos, y no cayó ningún dulce
    {
        no_hay_dulces_rf();
        if (digitalRead(boton1) == LOW)
        {
            premio = 2;
        }
    }
}
if (premio == 1) // Si cayeron dulces al moverlos de la plataforma
{
    delay(600);
    dispensar();
    radiof_off();
    premio = 0; // Reinicio de premio
}
}
}
else if (premio == 2)
{
    tiempo1 = millis();
    while((digitalRead(disco) == HIGH) && (premio == 2))
    {
        if ((millis() - tiempo1 <= 5000))
        {
            mover_dulces();
            delay(200);
        }
        else
        {
            no_hay_dulces_rf();
            if (digitalRead(boton1) == LOW)
            {
                premio = 1;
            }
        }
    }
}
if (premio == 2)
{
    delay(600);
    dispensar();
    radiof_off();
    premio = 0;
}
}
}
else
{
    premio = 0; // Si no ganó el juego, reinicio de premio
}
}

void loop()
{
    lectura_los_4();
    banderas_activadas();
}

```

```

// Inicialmente, la plataforma está en la parte superior esperando que se
deposite el primer plato
if ((digitalRead(fci1) == LOW) && (digitalRead(fci2) == LOW))
{
    if (digitalRead(boton1) == LOW) // BAJADA
    {
        while (((digitalRead(plato1) == HIGH) && (digitalRead(fci1) ==
            LOW)) && ((digitalRead(plato2) == HIGH) && (digitalRead(fci2)
            == LOW)))
        {
            bajada_motor1();
            bajada_motor2();
        }
        if (((digitalRead(plato1) == HIGH) && (digitalRead(fci1) == LOW))
            == LOW) && (((digitalRead(plato2) == HIGH) &&
            (digitalRead(fci2) == LOW)) == HIGH))
        {
            apagado_motor1();
            while ((digitalRead(plato2) == HIGH) && (digitalRead(fci2) ==
                LOW))
            {
                bajada_motor2();
            }
            apagado_motor2();
        }
        else if (((digitalRead(plato1) == HIGH) && (digitalRead(fci1) ==
            LOW)) == HIGH) && (((digitalRead(plato2) == HIGH) &&
            (digitalRead(fci2) == LOW)) == LOW))
        {
            apagado_motor2();
            while ((digitalRead(plato1) == HIGH) && (digitalRead(fci1) ==
                LOW))
            {
                bajada_motor1();
            }
            apagado_motor1();
        }
        else if (((digitalRead(plato1) == HIGH) && (digitalRead(fci1) ==
            LOW)) == LOW) && (((digitalRead(plato2) == HIGH) &&
            (digitalRead(fci2) == LOW)) == LOW))
        {
            apagado_motor1();
            apagado_motor2();
        }
        delay(500);
        desactivar_banderas();
        dar_dulce();
    }
    else
    {
        apagado_motor1();
        apagado_motor2();
    }
}
else if ((digitalRead(fci1) == HIGH) && (digitalRead(fci2) == LOW))
{
    apagado_motor1();
    apagado_motor2();
    platos_llenos_rf();
    while (digitalRead(boton2) == HIGH)
    {

```

```

    }
    while(digitalRead(fcs1) == LOW)
    {
        subida_motor1();
    }
    apagado_motor1();
    while (digitalRead(plato1) == HIGH)
    {
        }
    }
    radiof_off();
}
else if ((digitalRead(fci1) == LOW) && (digitalRead(fci2) == HIGH))
{
    apagado_motor1();
    apagado_motor2();
    platos_llenos_rf();
    while (digitalRead(boton2) == HIGH)
    {
        }
    }
    while(digitalRead(fcs2) == LOW)
    {
        subida_motor2();
    }
    apagado_motor2();
    while (digitalRead(plato2) == HIGH)
    {
        }
    }
    radiof_off();
}
else if ((digitalRead(fci1) == HIGH) && (digitalRead(fci2) == HIGH))
{
    apagado_motor1();
    apagado_motor2();
    platos_llenos_rf();
    while (digitalRead(boton2) == HIGH)
    {
        }
    }
    while((digitalRead(fcs1) == LOW) && (digitalRead(fcs2) == LOW))
    {
        subida_motor1();
        subida_motor2();
    }
    }
    if ((digitalRead(fcs1) == HIGH) && (digitalRead(fcs2) == LOW))
    {
        apagado_motor1();
        while ((digitalRead(fcs2) == LOW))
        {
            subida_motor2();
        }
        }
        apagado_motor2();
    }
    else if ((digitalRead(fcs1) == LOW) && (digitalRead(fcs2) == HIGH))
    {
        apagado_motor2();
        while ((digitalRead(fcs1) == LOW))
        {

```


Anexo T

Código del receptor

```
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#include <RF24_config.h>
#include <SPI.h>
int datos[2], bandera = 0, LED = 7;
RF24 radio(9,10);
const uint64_t pipe = 0xE8E8F0F0E1LL;
unsigned long tiempo;
void setup(void)
{
  pinMode(LED, OUTPUT);
  digitalWrite(LED, LOW);
  radio.begin();
  radio.setDataRate (RF24_1MBPS);
  radio.setPALevel(RF24_PA_MIN);
  radio.openReadingPipe(1,pipe);
  radio.startListening();
}
void loop(void)
{
  if (radio.available())
  {
    radio.read( &datos, sizeof(datos) );
    if (datos[0] == 0) // Aviso luminoso apagado
    {
      bandera = 0;
    }
    else if (datos[0] == 1) // Almacenamiento de platos lleno
    {
      bandera = 1;
    }
    else if (datos[0] == 2) // No hay dulces
    {
      bandera = 2;
    }
  }
  else
  {
    if (bandera == 0)
    {
      digitalWrite(LED, LOW);
    }
    else if (bandera == 1)
    {
      digitalWrite(LED, HIGH);
      delay(1000);
      digitalWrite(LED, LOW);
      delay(1000);
    }
    else if (bandera == 2)
    {
      digitalWrite(LED, HIGH);
    }
  }
}
```