

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DOSIFICADOR AUTOMÁTICO POR PESO DE GRANOS DE CEBADA PARA LA EMPRESA BEERLAND STORE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL**

**JUAN FERNANDO REMACHE SALAZAR**

**DIRECTOR: ING. DIEGO PILAQUINGA, MSc.**

**CODIRECTOR: ING. OSCAR CAMACHO, PhD**

**QUITO, AGOSTO 2022**

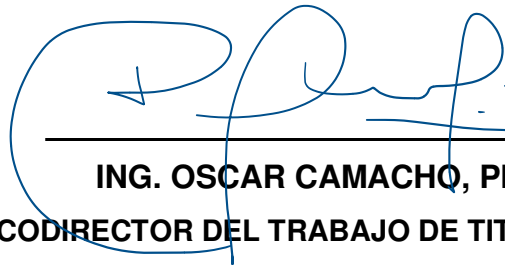
## **AVAL**

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Juan Fernando Remache Salazar, bajo nuestra supervisión.



---

**ING. DIEGO PILAQUINGA, MSc.  
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**



---

**ING. OSCAR CAMACHO, PhD  
CODIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Juan Fernando Remache Salazar, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración dejo constancia de que la Escuela Politécnica Nacional podrá hacer uso del presente trabajo según los términos estipulados en la Ley, Reglamentos y Normas vigentes.



---

JUAN FERNANDO REMACHE SALAZAR

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico primeramente a Dios por permitirme llegar hasta aquí. Con un gran amor a toda mi familia, mis padres y hermanos que son el pilar fundamental para seguir mejorando cada día y de manera muy especial a mis tíos y abuelitos por depositar su total confianza en mí.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento más sincero a Dios por concederme la dicha de vivir y haberme guiado y acompañado a lo largo de mi carrera para llegar a cumplir una meta más en mi vida.

Agradezco a mis padres y hermanos, Juan, Yolanda, Luis, Gabriela; por ser el apoyo y el impulso que me levantaba cuando mis fuerzas decaían. Agradezco a mis abuelitos y a mi tío, Jaime, María Luisa, Gonzalo; que de una u otra manera estuvieron presentes cuando más los necesitaba.

Un agradecimiento muy especial al Ingeniero Elías Durán por su paciencia y dedicación para hacer posible la construcción del prototipo del dosificador. De igual manera un especial agradecimiento al Ingeniero Daniel Salgado por su asesoría y conocimientos en la elaboración de la parte física y electrónica del sistema de dosificación.

Gracias al Ingeniero Diego Pilaquina por su guía, colaboración y tiempo prestado para la elaboración del proyecto de titulación. Gracias al Dr. Oscar Camacho por su asesoría y colaboración en todo momento.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

AVAL .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
RESUMEN .....	XI
ABSTRACT .....	XII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETIVOS .....	2
1.1.1 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.2. ALCANCE .....	3
1.3. MARCO TEÓRICO.....	4
1.3.1 TIPOS DE DOSIFICADORES .....	4
1.3.1.1 Vibración .....	4
1.3.1.2 Compuertas.....	5
1.3.1.3 Tornillo sin fin .....	6
1.3.2 TIPOS DE COMUNICACIÓN.....	7
1.3.2.1 Serial .....	7
1.3.2.2 I2C.....	8
1.3.2.3 RS – 232 .....	9
1.3.2.4 RS – 485 .....	9
1.3.3 HERRAMIENTAS DE ARDUINO .....	10
1.3.3.1 Librerías .....	10
1.3.3.2 Funciones.....	11
1.3.3.3 Interrupciones.....	13
1.3.3.4 Control PWM .....	14
2 METODOLOGÍA.....	15
2.1. ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA .....	15

2.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE DOSIFICADOR POR PESO .....	16
2.2.1 BASES Y SOPORTES DE LA ESTRUCTURA.....	17
2.2.2 SISTEMA DE PESAJE .....	18
2.2.3 SISTEMA DE DESCARGA .....	19
2.2.4 TOLVA DE ALMACENAMIENTO .....	24
2.3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA .....	25
2.3.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	29
2.3.2 sensores de nivel .....	31
2.3.3 RELÉS.....	32
2.3.4 SENSOR DE PESO.....	34
2.3.5 ACTUADOR.....	36
2.3.6 PULSADORES .....	39
2.3.7 VISUALIZADOR LCD .....	41
2.3.8 LUCES INDICADORAS .....	43
2.3.9 COMUNICACIÓN .....	44
2.3.10 ARDUINO .....	45
2.3.11 PCBs .....	46
2.4. DESARROLLO DEL SOFTWARE.....	49
2.4.1 TRAMA DEL MENSAJE .....	49
2.4.2 DOSIFICADOR.....	50
2.4.2.1 Declaración de variables y bibliotecas.....	50
2.4.2.2 Lazo principal .....	51
2.4.2.3 Transmisión de datos .....	53
2.4.2.4 Recepción de datos.....	53
2.4.2.5 Botón Stop.....	56
2.4.2.6 Encendido y apagado.....	56
2.4.2.7 Menú .....	57
2.4.2.8 Actuador .....	66
2.4.2.9 Nivel .....	69
2.4.2.10 Emergencia.....	70
2.4.2.11 Comunicación .....	72
2.4.3 HMI.....	72
2.4.3.1 Diseño de formularios.....	73
2.4.3.2 Apertura y cierre .....	75

2.4.3.3	Comunicación.....	76
2.4.3.4	Transmisión de datos .....	77
2.4.3.5	Recepción de datos.....	79
2.4.3.6	Recetas .....	86
3	PRUEBAS Y RESULTADOS .....	90
3.1.	PRUEBAS DE INTEGRACIÓN PLUG AND PLAY .....	91
3.2.	PRUEBAS DE CONEXIÓN Y COMUNICACIÓN .....	93
3.3.	PRUEBAS DE SENSORES Y ACTUADORES .....	95
3.4.	PRUEBAS DE INGRESO Y MODIFICACIÓN DE RECETAS .....	98
3.5.	PRUEBAS DE DOSIFICACIÓN .....	102
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	109
4.1.	CONCLUSIONES.....	109
4.2.	RECOMENDACIONES .....	110
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
ANEXOS	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Dosificador por vibración [3] .....	4
Figura 2.2.	Actuador de desplazamiento lineal electromagnético [4].....	5
Figura 2.3.	Dosificador por compuerta lineal [5].....	5
Figura 2.4.	Dosificador por compuerta rotativa [5] .....	6
Figura 2.5.	Dosificador por tornillo sin fin vertical [6].....	6
Figura 2.6.	Dosificador por tornillo sin fin horizontal [7].....	7
Figura 2.7.	Sistema de comunicación Serial entre dos dispositivos [9] .....	8
Figura 2.8.	Sistema de comunicación I2C [10].....	8
Figura 2.9.	Sistema de conexión tipo RS – 232 [11] .....	9
Figura 2.10.	Sistema de comunicación RS – 485 [11] .....	10
Figura 2.11.	Estructura de una función en Arduino [13] .....	12
Figura 2.12.	Activación de una interrupción externa [14] .....	13
Figura 2.13.	Tiempos de activación de las interrupciones externas [14] .....	13
Figura 2.14.	Ejemplos de señal PWM [16].....	14
Figura 2.15.	Arquitectura general del sistema.....	15
Figura 2.16.	Prototipo de dosificador por peso vista lateral.....	16
Figura 2.17.	Vista isométrica del prototipo de dosificador por peso .....	17
Figura 2.18.	Celda de carga .....	19
Figura 2.19.	Tablero de control vista frontal.....	26
Figura 2.20.	Tablero de control en vista isométrica.....	27
Figura 2.21.	Tablero de mando local vista frontal .....	28
Figura 2.22.	Tablero de mando local vista isométrica .....	28
Figura 2.23.	Fuente de alimentación conmutada de salida triple .....	29
Figura 2.24.	Bornera terminal de fuente de alimentación conmutada triple [22].....	30
Figura 2.25.	Bornera terminal con tornillo 2 x 8 .....	30
Figura 2.26.	Conexión interna de la bornera terminal con tornillo 2 x 8.....	31
Figura 2.27.	Sensor capacitivo LJC18A3 – B – Z / BY .....	31
Figura 2.28.	Diagrama de conexión de Sensor capacitivo LJC18A3–B–Z/BY [24].....	32
Figura 2.29.	Partes de módulo de 4 relés de 5V [25].....	33
Figura 2.30.	Circuito esquemático interno del módulo de 4 relés de 5V [26].....	33
Figura 2.31.	Diagrama de conexión de relés de 12V para sensores capacitivos .....	34
Figura 2.32.	Pines de salida de la celda de carga de 10 kg [28] .....	35
Figura 2.33.	Módulo de acondicionamiento de la celda de carga HX – 711 .....	35
Figura 2.34.	Diagrama de conexión interna del HX - 711.....	36
Figura 2.35.	Motor con caja reductora Pololu .....	37
Figura 2.36.	Modulo controlador de motor de CC con escobilla simple.....	38
Figura 2.37.	Terminales de conexión de modulo controlador de motor CC.....	38
Figura 2.38.	Pulsador de emergencia tipo hongo .....	40
Figura 2.39.	Pulsador de encendido y apagado.....	40
Figura 2.40.	Pulsadores de selección y mando .....	41
Figura 2.41.	LCD 20 x 4.....	41
Figura 2.42.	Módulo de comunicación I2C para LCD.....	43
Figura 2.43.	Modulo I2C en conexión con LCD 20 x 4.....	43
Figura 2.44.	Luces indicadoras existentes en el mando local. ....	44
Figura 2.45.	Puerto USB para montaje.....	44
Figura 2.46.	Arduino mega .....	46
Figura 2.47.	Diagrama de flujo de lazo principal .....	52
Figura 2.48.	Diagrama de flujo de transmisión de datos .....	53

Figura 2.49.	Diagrama de flujo de Serial Event.....	54
Figura 2.50.	Diagrama de flujo de recepción de datos .....	55
Figura 2.51.	Diagrama de flujo de botón de emergencia.....	56
Figura 2.52.	Diagrama de flujo de Encendido y apagado.....	57
Figura 2.53.	Diagrama de flujo de Menú (Parte 1) .....	58
Figura 2.54.	Diagrama de flujo de Menú (Parte 2) .....	59
Figura 2.55.	Diagrama de flujo de Menú (Parte 3) .....	60
Figura 2.56.	Diagrama de flujo de Menú (Parte 4) .....	61
Figura 2.57.	Diagrama de flujo de Menú (Parte 5) .....	63
Figura 2.58.	Diagrama de flujo de Menú (Parte 6) .....	64
Figura 2.59.	Diagrama de flujo de Menú (Parte 7) .....	65
Figura 2.60.	Diagrama de flujo de motor ON .....	67
Figura 2.61.	Diagrama de flujo de motor OFF.....	69
Figura 2.62.	Diagrama de flujo de nivel .....	70
Figura 2.63.	Diagrama de flujo de Emergencia.....	71
Figura 2.64.	Diagrama de flujo de Comunicación .....	72
Figura 2.65.	Formulario de pantalla principal .....	73
Figura 2.66.	Formulario de pantalla de recetas.....	74
Figura 2.67.	Diagrama de flujo Cerrar puertos Seriales .....	75
Figura 2.68.	Diagrama de flujo de Detección de errores .....	76
Figura 2.69.	Diagrama de flujo de Comunicación .....	77
Figura 2.70.	Diagrama de flujo de Botón Continuar .....	78
Figura 2.71.	Diagrama de flujo de Botón Cancelar .....	79
Figura 2.72.	Diagrama de flujo de Recibir datos .....	80
Figura 2.73.	Diagrama de flujo de Menú (Parte 1) .....	81
Figura 2.74.	Diagrama de flujo de Menú (Parte 2) .....	82
Figura 2.75.	Diagrama de flujo de Menú (Parte 3) .....	83
Figura 2.76.	Diagrama de flujo de Menú (Parte 4) .....	84
Figura 2.77.	Diagrama de flujo de Menú (Parte 5) .....	85
Figura 2.78.	Diagrama de flujo de escribir recetas almacenadas.....	87
Figura 2.79.	Diagrama de flujo de Guardar recetas .....	88
Figura 3.1.	Prototipo dosificador construido.....	90
Figura 3.2.	Interfaz hombre – maquina sin dosificadores conectados.....	92
Figura 3.3.	Interfaz hombre – maquina con un prototipo dosificador conectado. ....	92
Figura 3.4.	Interfaz hombre – maquina con dos dosificadores conectados. ....	93
Figura 3.5.	Prototipo con comunicación con el sistema general de dosificación .....	94
Figura 3.6.	Prototipo sin comunicación con la interfaz hombre - maquina .....	94
Figura 3.7.	Alarma preventiva de nivel bajo activada en el prototipo.....	95
Figura 3.8.	Alarma preventiva de nivel bajo activada en el HMI.....	95
Figura 3.9.	Alarma de seguridad de nivel muy bajo activada en el prototipo.....	96
Figura 3.10.	Alarma de seguridad de nivel muy bajo activada en el HMI .....	97
Figura 3.11.	Alarma de peligro generada en el motor mostrada en el prototipo .....	98
Figura 3.12.	Alarma de peligro generada en el motor mostrada en el HMI .....	98
Figura 3.13.	Ventana sin recetas ingresadas.....	99
Figura 3.14.	Ventana de ingreso para nueva receta .....	100
Figura 3.15.	Ventana con receta nueva ingresada en base de datos.....	100
Figura 3.16.	Ventana de selección de receta a modificar.....	101
Figura 3.17.	Base de datos con receta modificada .....	102

Figura 3.18. Ingreso de valores de consigna en mando local .....	103
Figura 3.19. Ingreso de valores consigna en el HMI .....	103
Figura 3.20. Confirmación de valores a dosificar en el prototipo.....	104
Figura 3.21. Confirmación de valores a dosificar en el HMI .....	104
Figura 3.22. Ciclo de dosificación pausada en el prototipo .....	105
Figura 3.23. Ciclo de dosificación pausada en el HMI .....	105
Figura 3.24. Fin de ciclo de dosificación en mando local .....	106
Figura 3.25. Fin de ciclo de dosificación en mando remoto .....	106
Figura 3.26. Visualización de fin del proceso en mando local.....	106
Figura 3.27. Visualización de fin del proceso en mando remoto .....	107

## **RESUMEN**

La empresa Beerland Store, dedicada a la comercialización de instrumentos e insumos para la elaboración de bebidas, consciente de la posibilidad de mejorar el proceso debido a la alta demanda del producto implementará la automatización de la dosificación de granos secos de cebada.

El presente proyecto de titulación abarca la automatización de un prototipo dosificador por peso de granos secos. Se diseña y se construye la estructura física mediante los requerimientos de almacenamiento y espacio disponible en la empresa. Se diseña e implementa el sistema eléctrico y electrónico ubicando los sensores y actuadores en el prototipo. Se desarrolla e implementa el software de control que permite manipular el dosificador desde el mando local y desde el mando remoto mediante una interfaz hombre máquina.

Se realizaron pruebas de funcionamiento que demostraron la conectividad e interacción entre las diferentes partes del sistema de dosificación para obtener la cantidad de producto final en la dispensación.

**PALABRAS CLAVE:** Dosificador, Arduino, Dosificación, Peso, Automático, Granos, HMI

## **ABSTRACT**

The company Beerland Store, dedicated to the commercialization of instruments and supplies to produce beverages, aware of the possibility of improving the process due to the high demand for the product, will implement the automation of the dosage of dry barley grains.

The present titling project covers the automation of a prototype dispenser by weight of dry grains. The physical structure is designed and built based on the storage requirements and available space in the company. The electrical and electronic system is designed and implemented by placing sensors and actuators in the prototype. The control software that allows the dispenser to be manipulated from the local control and from the remote control through a human machine interface was developed and implemented.

Functional tests were carried out that demonstrated the connectivity and interaction between the different parts of the dosing system to obtain the amount of final product in the dispensing.

**KEYWORDS:** Dispenser, Arduino, Dosing, Weight, Automatic, Grain, HMI.

# 1 INTRODUCCIÓN

La empresa Beerland Store se encuentra localizada en la ciudad de Quito, dedicada a la comercialización de instrumentos e insumos para la elaboración de bebidas. Dentro de su catálogo de productos se encuentran kits de insumos de diferentes estilos y cantidades para elaborar cerveza artesanal. Los kits poseen una combinación de granos de malta según el estilo, lúpulo, levadura y clarificante. La combinación de alrededor de veinte estilos de cerveza más las presentaciones de cinco volúmenes en cada uno de ellos, hace que las cantidades que integran cada elemento del kit sean sumamente variables.

En el mercado existe maquinaria que es muy costosa ya que pertenecen a marcas reconocidas de grandes empresas nacionales e internacionales por lo cual el sector microempresario tiene la necesidad de seguir innovándose para progresar y así competir, en base a la adquisición de maquinaria más económica pero que cumplan y satisfagan las necesidades del mercado. Un claro ejemplo de esto es la máquina dosificadora que es una herramienta útil de trabajo, la cual permite agregar un líquido o sólido en cantidades exactas en cada una de sus descargas. Son utilizados en diversas industrias como la alimenticia, cosmética, médica, detergentes, fertilizantes e insecticidas, pinturas y lacas, etc [1], [2].

El elemento que integra el mayor porcentaje de contenido del kit de insumos corresponde a los granos de cebada malteada cuyo proceso de dosificación actualmente se realiza de forma manual acorde a la receta y sin ninguna ayuda electrónica o mecánica. Como consecuencia, se incrementa el tiempo de trabajo, se dificulta la tarea, a su vez ocasiona cansancio físico al personal encargado y el elevado uso de horas - hombre provoca que el proceso sea menos eficiente y rentable.

Conscientes de la posibilidad de mejorar el proceso y debido al aumento de la demanda del producto, la Gerencia de la empresa ha identificado al proceso de dosificación automática de granos como un aspecto fundamental y debido a la diversidad de granos de malta que involucra cada estilo de cerveza, ha decidido realizar el proceso de automatización en dos etapas: la primera, cuyo objetivo es el desarrollo de un solo dosificador de granos con capacidades de mando local y remoto desde el HMI del proceso; y, la segunda, la integración de varios de estos dosificadores para lograr un funcionamiento conjunto. El proceso completo abarcaría un conjunto de diez dosificadores automáticos de granos secos de cebada malteada, dos de 10 kg y ocho de 4 kg de capacidad de almacenamiento, mediante el suministro graduado de cantidades exactas de cada uno de los granos previstas en las recetas almacenadas en el HMI desarrollado en la primera etapa

En este documento se presenta la primera etapa, donde se diseñará y construirá un dosificador automático de granos de cebada malteada de una sola tolva de 4 kg de capacidad, mediante un control por peso de las recetas ingresadas en función de la cantidad de granos que necesita cada kit de insumos. El prototipo tendrá la posibilidad de integración plug and play de otros dosificadores desarrollados en la segunda etapa mediante comunicación maestro – esclavo que será implementado en un sistema de control basado en Arduino. El proceso será controlado de manera local y remota la cual incluirá una interfaz hombre – maquina en un computador. El control del dosificador desde el mando local permitirá indicar el estado actual en el que se encuentra, generar alarmas de falta producto, dar inicio y paro al proceso; mientras que el control por mando remoto permitirá las mismas funciones que el mando local, además de identificar y sincronizar los dosificadores disponibles y habilitados, permitir el ingreso de nuevas recetas o modificaciones de las existentes según la necesidad. Por lo tanto al final se tendrá un producto final demostrable.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un dosificador automático de granos de cebada por peso para la empresa Beerland Store.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar una síntesis bibliográfica sobre dosificadores de grano seco, principio de funcionamiento, instrumentación requerida y métodos de control.
- Diseñar e implementar la estructura mecánica, el sistema eléctrico, electrónico e instrumentación requerida para la dosificación de granos.
- Diseñar y desarrollar el programa basado en Arduino encargado de controlar el funcionamiento del dosificador en modo local, remoto y con capacidad de integración “Plug and Play”.
- Diseñar una interfaz hombre – maquina en un computador mediante las herramientas y servicios para desarrolladores del software Visual Studio que permita controlar el dosificador de granos con capacidad de monitoreo del proceso, ingreso y modificación de recetas y generación de alarmas.

- Realizar las pruebas de funcionamiento del prototipo diseñado desde el control local y de forma remota desde el HMI para verificar la exactitud del peso de grano dosificado y el desempeño del sistema.

## **1.2. ALCANCE**

En el presente trabajo se realizará una síntesis bibliográfica sobre tres tipos de dosificación existentes en el mercado: mediante dispensación por vibración, por tornillo sin fin y por compuertas; con su respectivo control con Arduino, estableciendo un enfoque especial en la aplicación con granos secos de cereales.

Se diseñará e implementará el hardware apropiado de la estructura mecánica del dosificador de granos secos mediante tornillo sin fin para satisfacer las necesidades de la empresa.

Se realizará el diseño y la implementación del sistema eléctrico de fuerza, instrumentación y placas electrónicas necesarias, que permita alimentar al prototipo dosificador de granos secos.

Se desarrollará e implementará el programa de control del dosificador basado en Arduino con posibilidad de mando local y remoto desde una interfaz hombre – máquina.

Se desarrollará e implementará un mando local que permita dar marcha y paro al proceso, indicar el estado actual en el que se encuentra y visualizar señales de alarma de falta de producto.

Se desarrollará e implementará una interfaz hombre – máquina en un computador utilizando el software Visual Studio que permita interactuar entre el operador y el prototipo, con capacidad plug and play con dosificadores iguales, comandos de inicio y parada, visualización del estado actual del proceso, generación de alarmas y capacidad de ingreso de nuevas recetas o modificaciones de las existentes según la necesidad.

Se verificará el funcionamiento del dosificador de acuerdo con los objetivos planteados mediante la ejecución de las siguientes pruebas: Pruebas de conexión y comunicación entre el HMI y el prototipo. Pruebas de lectura de sensores y funcionamiento de actuadores instalados en el dosificador. Pruebas de ingreso en el HMI de nuevas recetas y de modificación de las existentes. Pruebas de integración plug and play mediante la inclusión de dos controladores Arduino adicionales con el mismo programa de control para simular



la conexión de dosificadores agregados al HMI. Prueba integradora del dosificador por peso del grano seco de cebada en mando local y remoto comparado con pesas patrón.

## **1.3. MARCO TEÓRICO**

### **1.3.1 TIPOS DE DOSIFICADORES**

En el mercado existen varios tipos de sistemas de dosificación, los cuales son utilizados según el material a manipular como puede ser elementos sólidos, líquidos, polvos, granulados, entre otros. También se selecciona el tipo de dosificador según la velocidad de dispensación, además involucra el precio, porque algunos materiales son muy específicos que solo distribuye la empresa fabricante, como son el caso de los tipo vibración, que funciona en base a un elemento electromecánico. Se analiza tres tipos de dosificadores como son: por vibración, por compuertas y por tornillo sin fin.

#### **1.3.1.1 Vibración**

Los dosificadores vibratorios se basan en un almacenamiento colocado en la parte superior mediante una dispensación por cualquier tipo de elemento que produzca vibración del canal de transporte para la dosificación, como se muestra en la Figura 2.1.



**Figura 2.1.** Dosificador por vibración [3]

La vibración del canal del transporte se puede realizar por actuadores de desplazamiento lineal, como pueden ser neumáticos, electromagnéticos, entre otros. La Figura 2.2 muestra un actuador para vibración electromagnético [3].

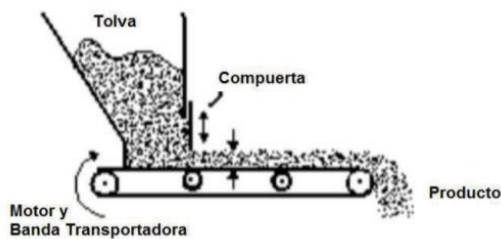


**Figura 2.2.** Actuador de desplazamiento lineal electromagnético [4]

Se utiliza para dosificación de todo tipo de productos, como polvos, granos y componentes sólidos. El actuador puede ser controlado por regulación de la frecuencia y amplitud de la alimentación eléctrica para regular el caudal y la velocidad de dispensación; este control se puede realizar mediante una señal PWM con un Arduino. El costo del actuador es elevado comparado con los otros tipos de dosificadores [4].

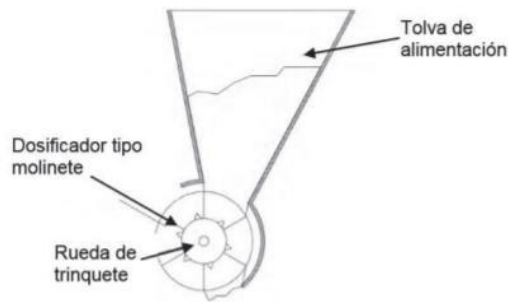
### 1.3.1.2 Compuertas

Los dosificadores por compuertas existen en dos variaciones, las cuales son: por compuerta lineal y por compuerta rotativa. La Figura 2.3 y la Figura 2.4 muestra el sistema de dosificación por compuerta lineal y por compuerta rotativa, respectivamente.



**Figura 2.3.** Dosificador por compuerta lineal [5]

El control de la compuerta lineal debe ser rápido para detener el flujo del producto, sin embargo la potencia requerida para una acción de cierre es muy alta por la presión ejercida durante la dosificación.



**Figura 2.4.** Dosificador por compuerta rotativa [5]

El dosificador por compuerta rotativa involucra más construcción física debido a que es una rueda cóncava seccionada acoplada a un eje móvil que gira alrededor del sentido de dosificación. Al poseer secciones de almacenamiento definidas dificulta dosificar valores no preestablecidos y múltiplos de estas secciones [5].

Se puede realizar un control mediante Arduino con un control ON – OFF tanto para la compuerta tipo lineal como para la compuerta tipo rotativa, debido a que solamente requiere activar o desactivar el actuador.

### 1.3.1.3 Tornillo sin fin

Los dosificadores por tornillo sin fin son controlados por la velocidad de giro del tornillo, que a su vez está controlado por el actuador mediante la variación de la frecuencia; pueden presentarse en dos modelos como son: de forma vertical y de forma horizontal; como se puede apreciar en la Figura 2.5 y en la Figura 2.6, respectivamente [6].



**Figura 2.5.** Dosificador por tornillo sin fin vertical [6]

La variación de dosificación por tornillo sin fin vertical requiere una estructura de acoplamiento del actuador en la parte superior de la tolva de almacenamiento, lo cual dificulta el suministro del producto hacia la tolva [7].



**Figura 2.6.** Dosificador por tornillo sin fin horizontal [7]

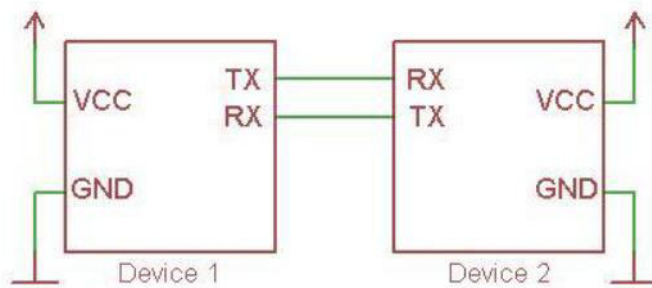
El dosificador por tornillo sin fin horizontal involucra una menor construcción en la parte del sistema, debido a que va acoplado a la salida de la tolva de almacenamiento y a su vez esta va unido al eje del actuador que esta fuera del sistema físico de dosificación.

Para cualquiera de las dos variaciones del tornillo sin fin, como es la vertical y la horizontal, se puede aplicar un control mediante Arduino con la aplicación de una señal PWM la cual permita controlar la velocidad de dispensación del grano.

## **1.3.2 TIPOS DE COMUNICACIÓN**

### **1.3.2.1 Serial**

La comunicación serial es una transmisión de datos entre receptor y transmisor asíncronos universales, también conocida como comunicación UART, la señal identificada como TX es la que transmite los datos, mientras que RX es la que los recibe datos. Permite comunicación entre dos dispositivos donde se conectan de manera cruzada como muestra la Figura 2.7 [8], [9].

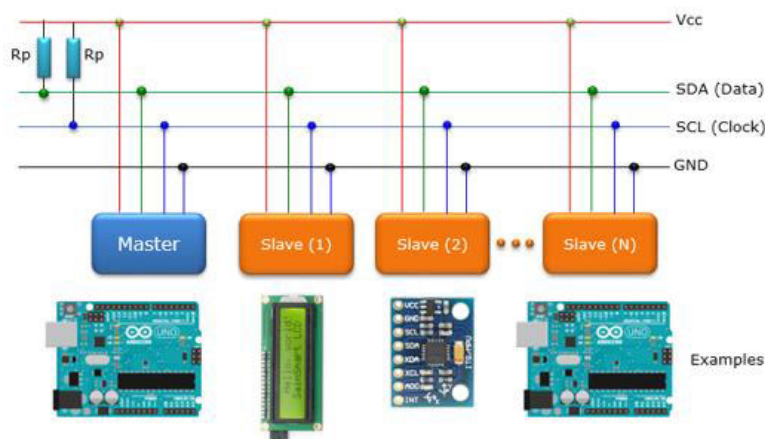


**Figura 2.7.** Sistema de comunicación Serial entre dos dispositivos [9]

Es utilizado para distancias cortas y donde no existan interferencia electromagnéticas o ruidosas. Como por ejemplo para conexión USB del ordenador con el terminal Serial existente en los Arduinos.

### 1.3.2.2 I2C

Es un protocolo de comunicación que permite controlar varios dispositivos únicamente con dos cables que son SDA y SCL encargados de la transmisión de datos y del sincronismo del reloj de pulsos, respectivamente. La Figura 2.8 muestra un sistema basado en Arduino con comunicación I2C entre los dispositivos involucrados [10].

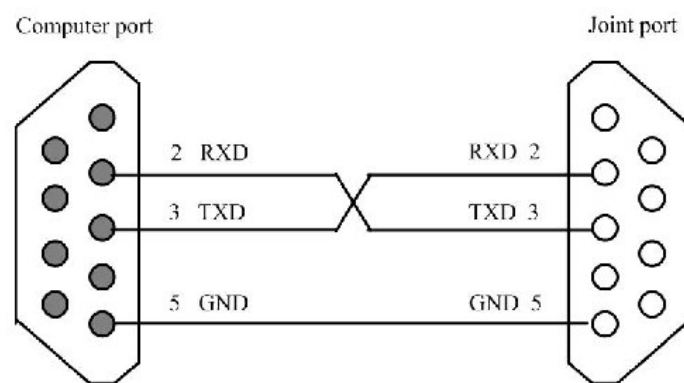


**Figura 2.8.** Sistema de comunicación I2C [10]

Este protocolo es aplicado en distancias cortas y requiere de resistencias terminadoras, colocadas entre VCC y cada uno de los cables de señales. Se puede ampliar su número de elementos involucrados en la comunicación, así como la distancia de transmisión, mediante repetidores. Es muy utilizado para transmisión entre un Arduino y un LCD a través del módulo de comunicación I2C previsto por el fabricante.

### 1.3.2.3 RS – 232

La comunicación RS – 232 es un sistema de transmisión de datos tipo serie asíncrono, es decir punto a punto. Se utiliza para distancia no mayores a 15 m, es propenso a filtración de señales acústicas debido a que trabaja con voltaje referencial, lo que produce velocidades de transmisión bajas. Se emplea en aplicación industriales con manejo de microcontroladores o dispositivos lógicos programables, mediante comunicación tipo Simple, Half Duplex y Full Duplex. Su conexión entre emisor y receptor es de manera cruzada y con una referencia de tierra, como se muestra en la Figura 2.9 [11].



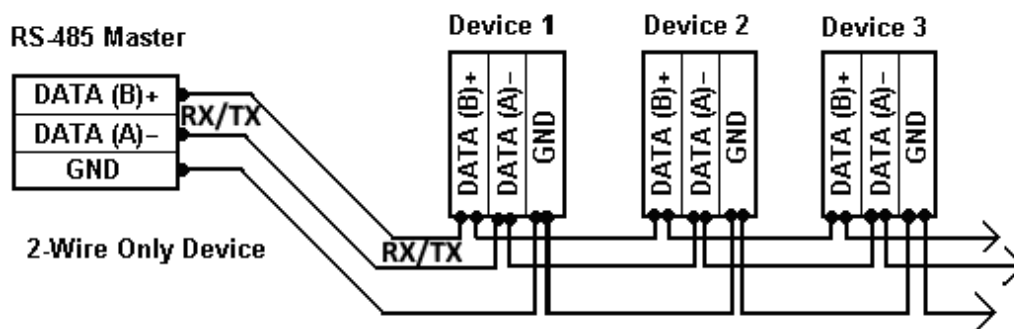
**Figura 2.9.** Sistema de conexión tipo RS – 232 [11]

### 1.3.2.4 RS – 485

La comunicación tipo RS – 485 es la más utilizada a nivel industrial, debido a que soporta filtraciones de ruido o interferencias electromagnéticas porque posee transmisión de datos tipo diferencial, a diferencia de la comunicación RS – 232 que posee referencia general [11].

Tiene capacidad de comunicación multipunto, es decir entre varios dispositivos y a distancia largas, a velocidades altas sin perder información de datos de transmisión. La conexión se realiza mediante dos terminales denominados señal invertida y señal no invertida.

Cuando se requiere comunicación a más de 1200 metros o más de 32 dispositivos involucrados en el sistema de comunicación se utiliza repetidores. No se puede transmitir y recibir datos al mismo tiempo, es decir solamente funciona bajo la modalidad Simple y Half Duplex. Generalmente este sistema se aplica al protocolo de comunicación Modbus de Maestro – Esclavo, como muestra la Figura 2.10.



**Figura 2.10.** Sistema de comunicación RS – 485 [11]

### 1.3.3 HERRAMIENTAS DE ARDUINO

Arduino es una empresa encargada de fabricar placas de hardware y software libre que incorpora un microcontrolador reprogramable con pines de conexión hacia el exterior para facilitar la lectura o escritura de diferentes tipos de señales de los sensores o actuadores.

Para optimizar el funcionamiento del sistema, Arduino facilita varias opciones como son el uso de cosas ya preestablecidas y almacenadas en la base del software, tales como las bibliotecas de diferentes elementos; también permite la organización mediante funciones para evitar una programación repetitiva cada vez que requiera ser usada. Adicionalmente brinda herramientas como control PWM e interrupciones tanto internas y externas, entre otros.

El software utilizado y recomendado por el fabricante es Arduino IDE. Sin embargo, existen otros tipos de Software que poseen el mismo sistema de programación o extensión que permiten la programación, tales como Matlab, Visual Studio, entre otros.

#### 1.3.3.1 Librerías

Arduino en su software que implementa librerías que son un conjunto de instrucciones de lenguaje de programación agrupadas de forma coherente. Una librería contiene instrucciones predefinidas para el funcionamiento de algún elemento en específico.

Evita la programación línea a línea simplemente llamando a la etiqueta o instrucción y colocando los parámetros respectivos para su funcionamiento que generalmente son los pines de conexión.

La facilidad que brinda Arduino permite crear librerías propias y subir a la base de datos del software para que sea de dominio público de todos los usuarios a nivel mundial. Entre las librerías más utilizadas se encuentran:

- Librería LiquidCrystal: Permite el manejo de un visualizador tipo LCD.
- Librería EEPROM: Permite el acceso para la lectura y escritura de la memoria EEPROM del microcontrolador.
- Librería Wire: Habilita la comunicación I2C con todas sus funciones, se aplica mediante módulos I2C entre el Arduino y el elemento a controlar.
- Librería SoftwareSerial: Habilita la comunión tipo Serial mediante los terminales de conexión RX y TX que pueden ser entre Arduinos o con elementos con capacidad de comunicación Serial como puede ser un ordenador.
- Librería HX711: Permite leer y escribir datos provenientes de una celda de carga.
- Librería RS485: Permite la comunicación RS – 485 con su respectivo envío y recepción de datos compatibles con el circuito integrado MAX3157 o su equivalente.
- Librería Modbus: Habilita la comunicación mediante el protocolo Modbus, puede ser en versión TCP / IP o RTU para trabajar con el sistema Maestro – Esclavo [12].

### **1.3.3.2 Funciones**

Las funciones facilitan el procesamiento de instrucciones y datos dentro de la programación, debido a que no es necesario escribir el código cada vez que se necesite, simplemente se coloca los argumentos que se necesita enviar y recibir y se llama a la función. Es un conjunto de instrucciones que realiza una tarea específica, generalmente está diseñada e implementada de forma independiente del lazo principal de programación.

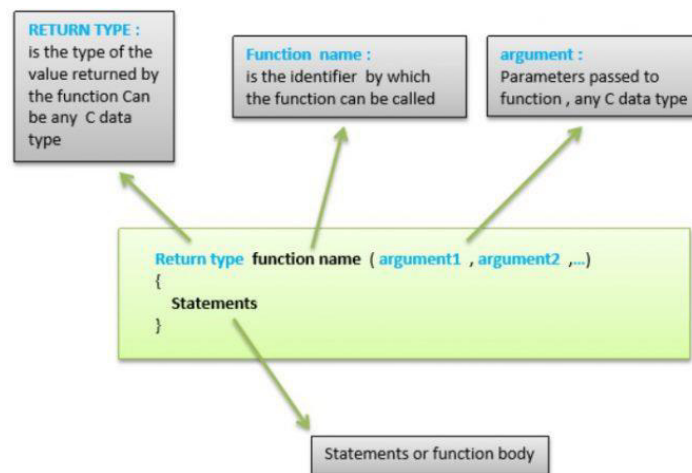
Ventajas de usar funciones en Arduino:

- Mantiene una mejor organización y visualización del código completo.
- Se encarga de codificar únicamente una parte del código. No requiere todo el sketch.
- Reduce la probabilidad de errores al modificar y ejecutar el código.
- Ahorro de espacio de memoria y código en el sketch debido a que la función puede ser reutilizada varias veces durante el proceso.



Una función consta de varias partes, como se muestra en la Figura 2.11, las cuales se detallan a continuación:

- Tipo: Especifica el tipo de datos con el que va a trabajar.
- Nombre: Es la identificación para llamar a la función.
- Argumento: Son los parámetros que se envía como datos para procesar en la función.
- Contenido: Se programa todo lo que se requiere que se realice en la función.
- Retorno: Devuelve valores después del procesamiento de la función, no siempre es necesario un retorno [13].



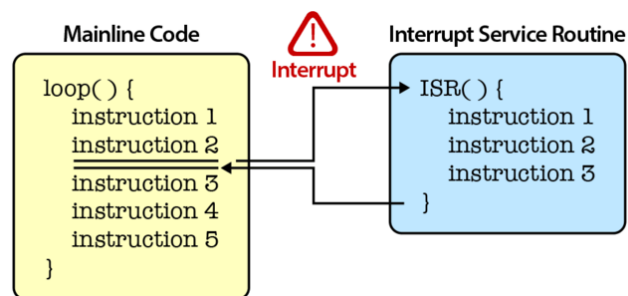
**Figura 2.11.** Estructura de una función en Arduino [13]

Entre las principales funciones preestablecidas en la biblioteca de Arduino, se encuentran:

- Función map: Permite un mapeo o acondicionamiento de un valor, estableciendo únicamente los límites inferiores y superiores de entrada y salida.
- Función de tiempo: Existen algunas según la unidad de tiempo que se requieren como son millis o micros. Establece el tiempo de consigna que se ejecutó la instrucción.
- Función delay: Establece un tiempo de espera o pausa en la ejecución del código cuando ingresa a esta función, está definida por defecto en milisegundos.

### 1.3.3.3 Interrupciones

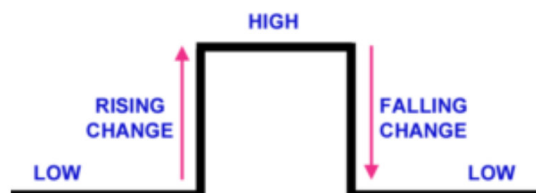
Arduino trabaja en función de un algoritmo repetitivo el cual se va leyendo y actualizando mientras dura el proceso, sin embargo esto ocasiona retardo de tiempos entre instrucciones cuando se requiere de acción inmediatas, también el barrido del algoritmo involucra consumo de energía constante. Para evitar todo esto, se coloca interrupciones, que son eventos de ocurrencia no predeterminada dentro del algoritmo, genera un cambio instantáneo sin importar donde se encuentre en ese momento el lazo repetitivo; como se muestra en la Figura 2.12 [14].



**Figura 2.12.** Activación de una interrupción externa [14]

Los Arduinos vienen predeterminados con pines para actuar como interrupciones, por ejemplo en el Arduino Mega están habilitados los pines 2, 3, 18, 19, 20 y 21. Las interrupciones pueden actuar por cuatro tipos de eventos, como muestra la Figura 2.13 y las cuales se detallan a continuación:

- LOW: Se activará cuando la señal recibida este en bajo nivel.
- CHANGE: Se activará cuando exista un cambio de nivel de alto a bajo o viceversa.
- RISING: Se activará cuando existe el cambio de nivel de voltaje de bajo a alto.
- FALLING: Se activará cuando existe el cambio de nivel de voltaje de alto a bajo.



**Figura 2.13.** Tiempos de activación de las interrupciones externas [14]

También existen otros tipos de interrupciones que actúan de manera inmediata sin importar el algoritmo del programa principal, como son las interrupciones internas y los timers. Son

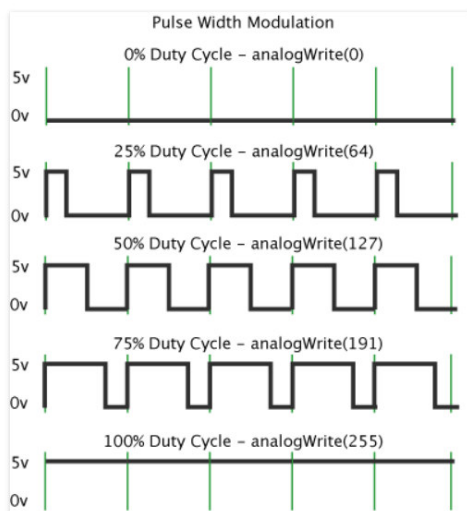
interrupciones que trabajan en función del tiempo, es decir, cada cierto tiempo se activan y ponen a barrer el algoritmo albergado en estas interrupciones; puede ser de manera única o de manera cíclica, según como sea el caso.

Estas interrupciones son muy ocupadas cuando se requiere encendido y apagados cíclicos y no hay necesidad de esperar a que el lazo principal recorre la instrucción que active y desactiva la salida establecida. Esta opción permite manejar varias variables y actividades en paralelo dentro de un mismo Arduino.

### 1.3.3.4 Control PWM

El control por modulación de ancho de pulso es una técnica encargada de conmutar cada cierto tiempo la señal de salida durante un periodo establecido.

El tiempo de actuación de la señal en alto está definido por el valor de PWM que Arduino establece para su ciclo útil, ciclo en alto, que sea entre 0 y 255, donde 0 es una señal sin activación y 255 es una señal todo el tiempo activado, como muestra la Figura 2.14 [15].



**Figura 2.14.** Ejemplos de señal PWM [16]

El control PWM genera una salida análoga en la señal, pero en función del periodo no de la amplitud, de tal forma que nunca se llega a aumentar o disminuir los límites inferiores y superiores de la señal. Simplemente al final del periodo lo que va a cambiar es el valor promedio generado durante todo el ciclo.

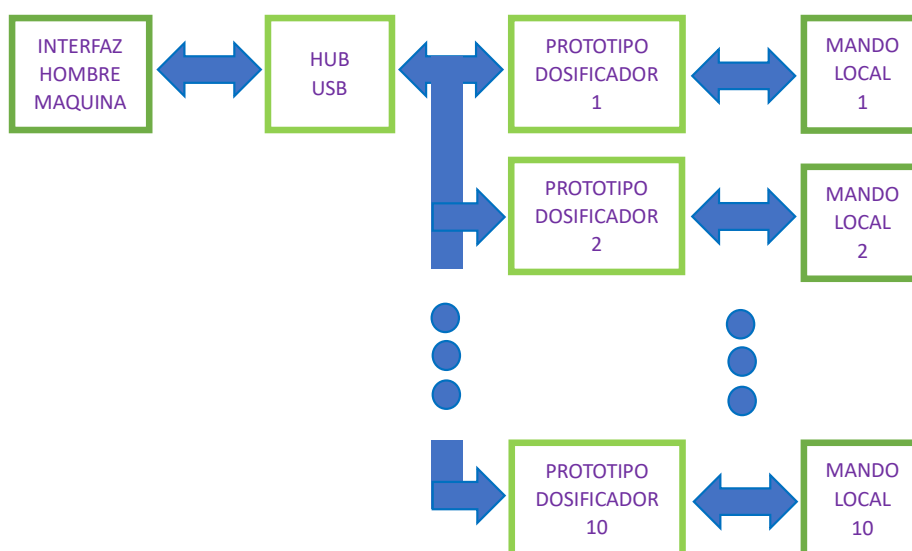
Esta técnica de modulación por ancho de pulso se utiliza en elementos de control de luminosidad, de velocidad, entre otros, donde se necesita cambiar la intensidad y cantidad de la señal de salida.

## 2 METODOLOGÍA

En este capítulo se detalla la elaboración total del sistema de dosificación por peso de cebada, en el cual abarca el diseño y la construcción del prototipo dosificador en su estructura física y la implementación de la parte eléctrica y electrónica tomando sus respectivas conexiones entre ellos y su ubicación. Se incluye el desarrollo del software especificando la elaboración del programa del Arduino colocado en el prototipo; así como de la interfaz hombre maquina realizado en el programa Visual Studio.

### 2.1. ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA

El sistema de dosificación por peso de granos de cebada involucra varias partes como se muestra en la Figura 2.15.



**Figura 2.15.** Arquitectura general del sistema

Cada uno de los dosificadores tiene capacidad de funcionar de manera individual mediante su respectivo mando local, sin necesidad de estar unificado al sistema general. También, cada dosificador se puede integrar a la red general mediante comunicación serial entre el puerto USB de la computadora con el puerto UART del Arduino.

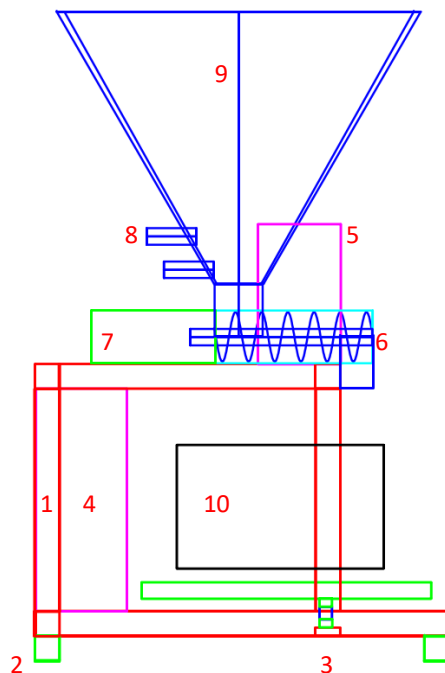
Cada prototipo dosificador tiene su respectivo puerto de conexión asignado en el Hub USB, trabaja mediante el sistema Maestro – Esclavo con un formato de comunicación de trama propia.

La Figura 2.15 muestra la arquitectura general del sistema, donde se indica que cada prototipo dosificador mantiene la misma estructura y forma de integración al mando remoto,

HMI; manteniendo la misma arquitectura física mostrada en la Figura 2.16, únicamente cambiando la dirección del nuevo dosificador.

## 2.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE DOSIFICADOR POR PESO

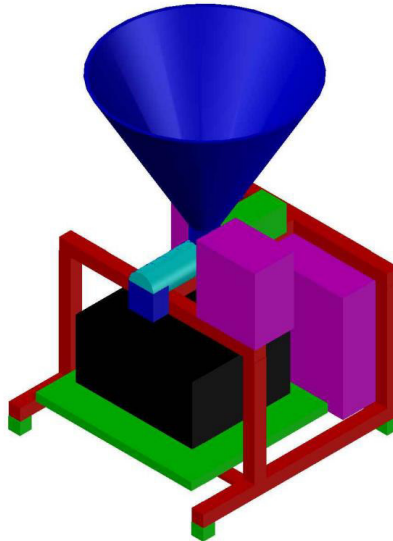
El prototipo de dosificador por peso se realizó utilizando el software AutoCAD como herramienta de diseño. Se utilizaron cálculos y fórmulas para obtener las diferentes medidas adecuadas para cada parte de la estructura con el fin de cumplir la capacidad volumétrica de la tolva y disponibilidad de espacio requerida por la empresa para su ubicación. La Figura 2.16. muestra un esquema general del prototipo dosificador donde se identifican las diferentes piezas que lo conforman; mientras que la Figura 2.17 muestra una visualización isométrica simulada del prototipo.



**Figura 2.16.** Prototipo de dosificador por peso vista lateral

1. Soportes de la estructura.
2. Bases de la estructura.
3. Sistema de pesaje.
4. Tablero de control.
5. Mando local.

6. Sistema de descarga.
7. Actuador.
8. Sensores de nivel
9. Tolva de almacenamiento
10. Recipiente recolector.



**Figura 2.17.** Vista isométrica del prototipo de dosificador por peso

### **2.2.1 BASES Y SOPORTES DE LA ESTRUCTURA**

Para la base de la estructura se utilizó como referencia las medidas dadas por la empresa Beerland Store, el espacio para la ubicación física de la estructura debía ser el menor posible en largo y ancho.

En la construcción se usó vigas de acero de sección cuadrada de 30 mm para toda la estructura, excepto para la base del tornillo sin fin en donde se ocupó vigas de acero de sección rectangular de 30 mm de ancho por 60 mm de largo; empleando cortes de 45 grados en cada viga para uniones esquineras a 90 grados.

Se tiene como dato que el envase recolector del producto dosificado tiene medidas de 30 cm de largo, 25 cm de ancho y 15 cm de alto.

Se tomo en cuenta el ancho del envase recolector del producto, el ancho del tablero de control y el espacio de separación entre estos, para obtener un ancho total de 50 cm. A partir de esto, se requería una estructura simétrica debido a que la tolva es de construcción

uniforme respecto al punto medio de la base, por ende, el largo también requería ser de la misma medida, 50 cm de largo, formado por un conjunto de cuatro vigas en forma poligonal.

Se definió un marco no cuadrado como base, debido a que la ubicación de la celda de carga debe estar ubicada lo más próxima al centro de masa de medición, entonces una viga que sería la base para la colocación de la celda de carga estaría ubicada 10 cm al interior de un extremo.

Posteriormente, se definió la altura a partir de la cual empezaría la construcción del tronillo sin fin, para lo cual se tomó en cuenta la altura del recipiente recolector del producto, la altura que involucra la colocación de la celda carga con su respectiva plataforma y una separación entre el recipiente y el tornillo sin fin, con el objetivo de dar una maniobrabilidad adecuada en el ingreso y retiro del recipiente, dando así un total de 30 cm de alto.

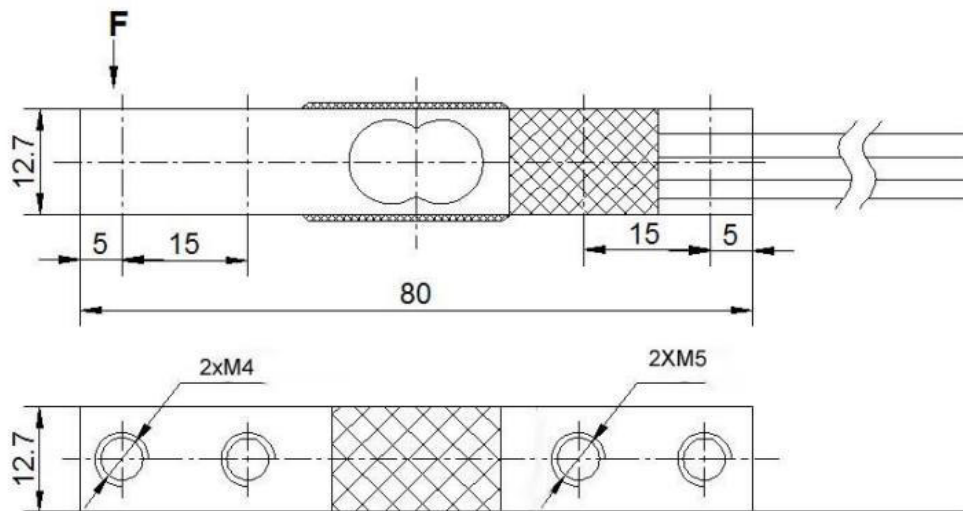
En la parte superior de la estructura base se colocaron tres vigas de acero en forma de “H” para garantizar su solidez y a la vez crear una superficie base para la colocación del tornillo sin fin.

Finalmente, se colocaron cuatro patas niveladoras ajustables en los extremos de la base para garantizar un equilibrio en la superficie de utilización.

### **2.2.2 SISTEMA DE PESAJE**

El sistema de pesaje involucra la colocación de la celda de carga con acoplamiento entre la base estructural fija en el centro de la viga de acero interna y la plataforma base para colocar el recipiente de recolección del producto dosificado.

La celda de carga colocada es de 10 kg de capacidad máxima tipo viga. Posee tres partes definidas que son: la sujeción a la parte fija, sujeción a la parte móvil y parte de elongación. Las partes sujeción poseen dos orificios para colocación de pernos separados entre sí por 15 mm; la parte fija posee orificios M5 y la parte móvil orificios M4, como se muestra en la Figura 2.18.



**Figura 2.18.** Celda de carga

Para la sujeción de la parte fija y la parte móvil, se colocaron dos barras de acero de sección cuadrada de 15 mm y de 30 mm de altura con sus respectivos agujeros para la colocación de los pernos.

La plataforma de soporte para el recipiente recolector tiene 40 mm de ancho y 35 mm de largo, está hecha de acero con una superficie con relieves para crear rozamiento y evitar que se deslice fácilmente el recipiente recolector.

### 2.2.3 SISTEMA DE DESCARGA

El sistema de descarga consiste en el transporte de la cebada entre la tolva de almacenamiento y el recipiente recolector.

Al final de la tolva de almacenamiento se encuentra acoplado de forma vertical un tubo tipo cilindro vacío de 10 cm de alto y de 3 cm de radio; mientras que en su otro extremo se une a un tubo del mismo tipo pero de forma horizontal de radio 3 cm y de alto 19 cm.

En el extremo del tubo horizontal se acopla una pieza hueca tipo boca rectangular inferior de 3 cm de largo por 6 cm de ancho con un canal guía de descarga para garantizar la caída del producto en el recipiente recolector.

En el interior del tubo horizontal se encuentra un tornillo sin fin fabricado en acero inoxidable. A continuación, se presenta el cálculo para la potencia del motor que mueve el tornillo sin fin que dosifica los granos de cebada.



Primero se requiere saber el área de relleno del transportador que viene dada por la Ecuación 2.1 [17].

$$S = \lambda x \frac{\pi x D^2}{4} \quad (2.1)$$

Donde:

S: Área de relleno del transportador en [m<sup>2</sup>]

D: Diámetro del canal de transporte en [m]

λ: Coeficiente de relleno de la sección.

La Tabla 2.1. muestra los diferentes tipos de coeficiente de relleno según el tipo de carga.

**Tabla 2.1.** Coeficiente de relleno

TIPO DE CARGA	λ
Pesada y abrasiva	0.125
Pesada y poco abrasiva	0.25
Ligera y poco abrasiva	0.32
Ligera y no abrasiva	0.4

En el caso de la cebada, tiene un coeficiente de relleno de 0.32, debido a que es un producto ligero y poco abrasivo. También se sabe que el tubo es de 0.076 m de diámetro. Reemplazando estos datos en la Ecuación 2.1 se obtiene el área de relleno del transportador, como se muestra en la Ecuación 2.2.

$$S = 0.32 x \frac{\pi x 0.076^2}{4} = 0.0015 \text{ m}^2 \quad (2.2)$$

Luego se calculó la velocidad de desplazamiento del transportador mediante la Ecuación 2.3.

$$v = \frac{p x n}{60} \quad (2.3)$$

Donde:

v: Velocidad de desplazamiento del transportador en [m/s]

p: Paso del tornillo en [m]

n: Velocidad de giro del eje del tornillo en [rpm]

Por motivos de fabricación del tornillo sin fin, se sugirió que las espiras, el paso del tornillo, estén colocadas cada 3 centímetros para facilitar su colocación y posterior manipulación para soldar al eje del tornillo.

Se tiene como dato que las porciones de producto dosificados son en promedio menor a un kilo, de tal forma la velocidad de giro del eje del tornillo debe ser baja, tomando como referencia un aproximado de 80 rpm.

Con los datos anteriores, se aplica la Ecuación 2.3 y se obtiene el valor de la velocidad de desplazamiento del transportador en la Ecuación 2.4

$$v = \frac{0.03 \times 80}{60} = 0.04 \text{ [m/s]} \quad (2.4)$$

Se procede al cálculo del flujo del material mediante la Ecuación 2.5

$$Q = 3600 \times S \times v \times \rho \times i \quad (2.5)$$

Donde:

Q: Flujo del material transportado [t/h]

S: Área de relleno del transportador en [m<sup>2</sup>]

v: Velocidad de desplazamiento del transportador en [m/s]

ρ: Densidad del material transportado [t/m<sup>3</sup>]

i: Coeficiente de disminución de flujo de material por inclinación del transportador [rpm]

La Tabla 2.2. muestra los diferentes coeficientes de disminución de flujo en función del ángulo de inclinación del transportador.

**Tabla 2.2.** Coeficiente de disminución de flujo de material por inclinación del transportador.

Ángulo de inclinación	0°	5°	10°	15°	20°
i	1	0.9	0.8	0.7	0.6

Se tomó en cuenta la Tabla 2.2 para elegir el coeficiente de disminución de flujo del material; como el ángulo de inclinación del transportador es de cero grados, entonces el coeficiente posee el valor de uno.

Para el dato de la densidad de la cebada se toma en cuenta el valor de 690 [kg/m<sup>3</sup>] obtenidos de la densidad aparente de productos agrícolas equivalente a 0.69 [t/m<sup>3</sup>].

Con los datos anteriores se utiliza la Ecuación 2.5. para obtener el flujo del material transportado, como se muestra en la Ecuación 2.6.

$$Q = 3600 \times 0.0015 \times 0.04 \times 0.69 \times 1 = 0.15 \text{ [t/h]} \quad (2.6)$$

Luego se requiere el cálculo de la potencia total de accionamiento del transportador, la cual es la suma de todas las potencias parciales existentes durante todo el proceso como muestra la Ecuación 2.7.

$$P = Ph + Pn + Pi \quad (2.7)$$

Donde:

P: Potencia de accionamiento del transportador [kW]

Ph: Potencia de desplazamiento horizontal [kW]

Pn: Potencia de accionamiento del transportador en vacío [kW]

Pi: Potencia de accionamiento con transportador inclinado [kW]

Debido a que este sistema de dosificación no posee transportador con inclinación alguna, la potencia de accionamiento con transportador inclinado es cero.

Para el cálculo de la potencia de desplazamiento horizontal se utiliza la Ecuación 2.8.

$$Ph = Co \times \frac{Q \times L}{367} \quad (2.8)$$

Donde:

Ph: Potencia de desplazamiento horizontal [kW]

Co: Coeficiente de resistencia de material transportado

Q: Flujo del material transportado [t/h]

L: Longitud del transportador [m]

La Tabla 2.3. muestra los coeficientes de resistencia según el tipo de material transportado, entonces se sabe que el coeficiente Co de la cebada es 1.2.

**Tabla 2.3.** Coeficiente de resistencia de materiales transportados [18], [19].

TIPO DE MATERIAL	Co
Harina, serrín, productos granulosos	1.2
Turba, sosa, polvo de carbón	1.6
Antracita, carbón, sal de roca	2.5

Yeso, arcilla seca, tierra fina, cemento, cal, arena	4
--	---

Con los datos obtenidos anteriormente, incluyendo la longitud del transportador que es de 19 cm, se aplica la Ecuación 2.8 donde se obtiene la potencia de desplazamiento horizontal, mostrada en la Ecuación 2.9.

$$Ph = 1.2 \times \frac{0.15 \times 0.19}{367} = 0.09 [W] \quad (2.9)$$

Para el cálculo de la potencia de accionamiento del transportador en vacío se aplica la Ecuación 2.10. donde los datos ya son conocidos, entonces se procede a su cálculo en la Ecuación 2.11.

$$Pn = \frac{D \times L}{20} \quad (2.10)$$

Donde:

D: Diámetro del canal de transporte en [m]

L: Longitud del transportador [m]

Pn: Potencia de accionamiento del transportador en vacío [kW]

$$Pn = \frac{0.076 \times 0.19}{20} = 0.72 [W] \quad (2.11)$$

Una vez obtenido las potencias parciales, se procede al cálculo de la potencia total mostrado en la Ecuación 2.12. donde se aplica la Ecuación 2.7.

$$P = 0.09 + 0.72 + 0 = 0.81 [W] \quad (2.12)$$

Se procede a calcular el torque del motor en función de la potencia, como lo muestra la Ecuación 2.13 [20].

$$P = T \times w \quad (2.13)$$

Donde:

P: Potencia total [kW]

T: Torque o par motor [N.m]

w: Velocidad angular del eje [rad/s]

Se despeja el torque de la Ecuación 2.13, se reemplaza la velocidad angular en función de las revoluciones por minuto y se utiliza los datos obtenidos en el proceso anterior, para dar como resultado el torque como se muestra en la Ecuación 2.14.

$$T = \frac{P \times 60}{n \times 2\pi} = \frac{0.00081 \times 60}{80 \times 2\pi} = 0.096 [N.m] \quad (2.14)$$

## 2.2.4 TOLVA DE ALMACENAMIENTO

La cebada debe estar almacenada en una gran cantidad comparada con las porciones de dosificación, para lo cual el requerimiento de la empresa Beerland Store es de mínimo 4 kg, tomando como dato referencial que el volumen de 3 kg de cebada que es el almacenado en el envase recolector guía [21].

Se sabe que el producto a dosificar estará almacenado en una tolva, la cual, para facilitar el deslizamiento hacia el sistema de descarga tendrá forma de tronco de cono, por ende la formula usada para este cálculo es la mostrada en la Ecuación 2.15

$$V_{tc} = \frac{1}{3} \times \pi \times h \times (R^2 + r^2 + R \times r) \quad (2.15)$$

Donde:

V<sub>tc</sub>: Volumen de tronco de cono [cm<sup>3</sup>]

R: Radio mayor del tronco de cono [cm]

r: Radio menor del tronco de cono [cm]

h: Altura de tronco de cono [cm]

A partir de esto se calcula el volumen que ocupara un total de 6 kg de producto, tomando como tolerancia extra de +2 kg el almacenamiento; como se muestra en la Ecuación 2.16.

$$V_t = 2 \times V_r = 2 \times (L \times A \times h) \quad (2.16)$$

Donde:

V<sub>t</sub>: Volumen tolva [cm<sup>3</sup>]

V<sub>r</sub>: Volumen del recipiente recolector [cm]

L: Largo del recipiente recolector [cm]

A: Ancho del recipiente recolector [cm]

h: Altura del recipiente recolector [cm]

$$Vt = 2 x (30 x 25 x 15) = 22500 \text{ cm}^3 \quad (2.17)$$

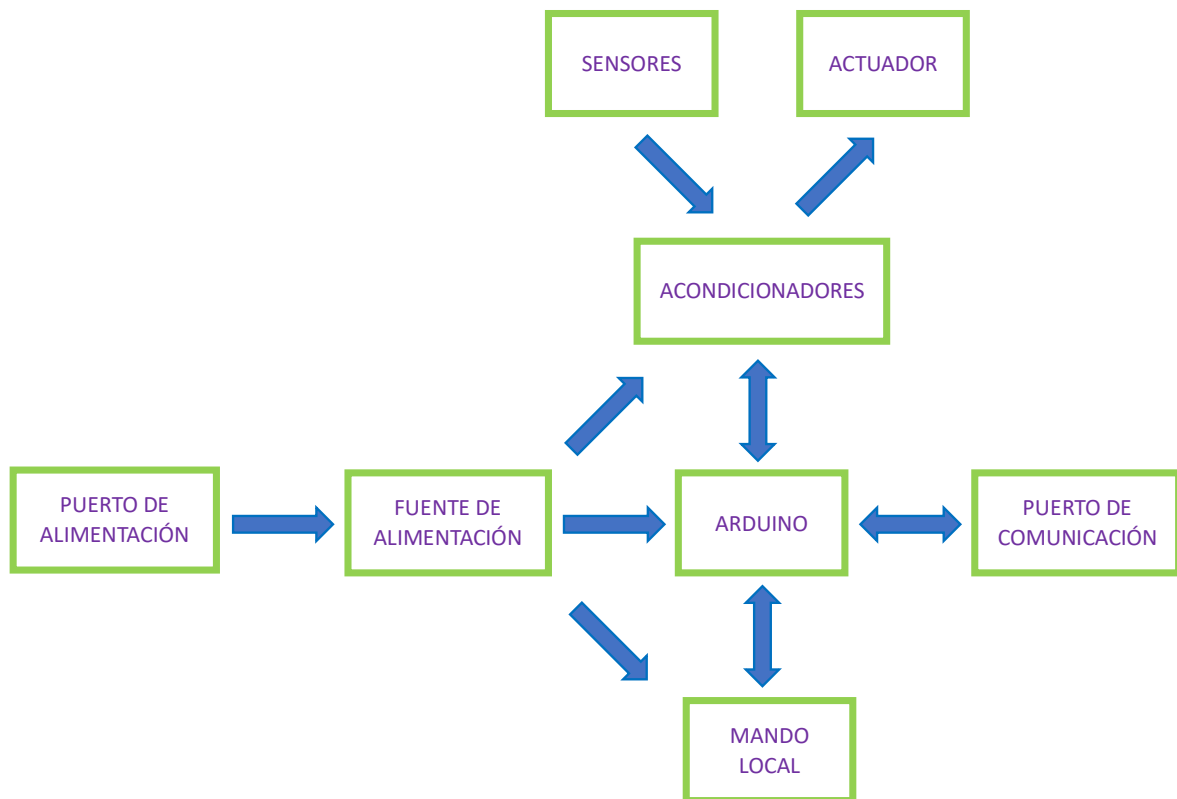
Con el valor del volumen total requerido, además de datos como del radio menor que es de 3 cm que equivalente al diámetro del tubo del sistema de descarga y del radio mayor de 25 cm que equivale a la longitud máxima de la estructura; se aplica la Ecuación 2.15 en función de obtener la altura mínima de la tolva como muestra la Ecuación 2.18 con su resultado en la Ecuación 2.19

$$22500 = \frac{1}{3} x \pi x h x (25^2 + 3^2 + 25 x 3) \quad (2.18)$$

$$h = 30.3 \text{ cm} \quad (2.19)$$

### 2.3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

La parte eléctrica y electrónica en el prototipo dosificador posee la estructura mostrada en la Figura 2.19 la cual se encuentra implementada dentro de cajas rectangulares fabricadas en tol galvanizado, distribuidas en dos partes, como son el tablero de control y el mando local.

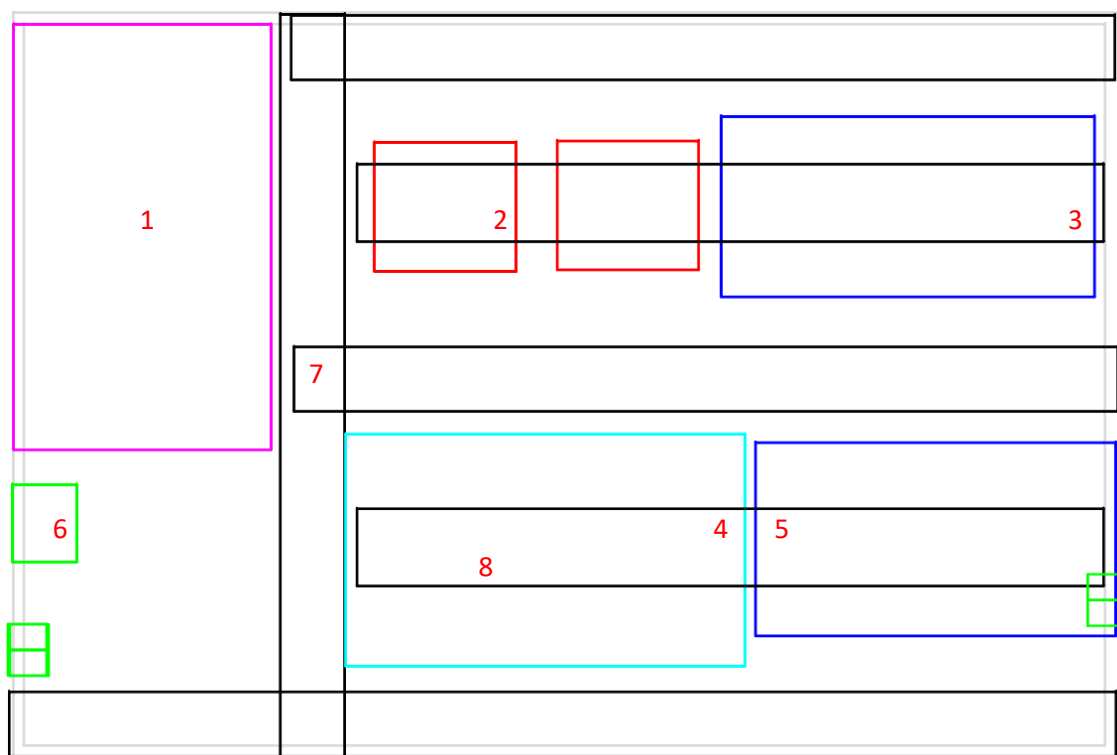


**Figura 2.19.** Arquitectura de la parte eléctrica y electrónica del prototipo dosificador

El tablero de control se encuentra en una caja de las siguientes medidas: 27 cm de alto, 44 cm de largo y 10 cm de ancho. Mientras que el mando local está ubicado en una caja con las siguientes dimensiones: 21 cm de alto, 18 cm de largo y 10 cm de ancho.

El tablero de control posee dos rieles Din de 3.5 cm de ancho y de 29 cm de largo cada una. Además de canaletas ranurada de sección cuadrada de 1.5 cm, que permiten transportar los conductores eléctricos por todo el tablero de control, posee tres canaletas ubicadas de manera horizontal, una en el extremo superior de 30 cm de largo, otra en el extremo inferior de 43 cm de largo y una en la mitad de 30 cm de largo; finalmente, una canaleta de manera vertical de 24 cm de largo.

La Figura 2.20 muestra una representación gráfica del tablero de control con la distribución de los diferentes elementos internos.

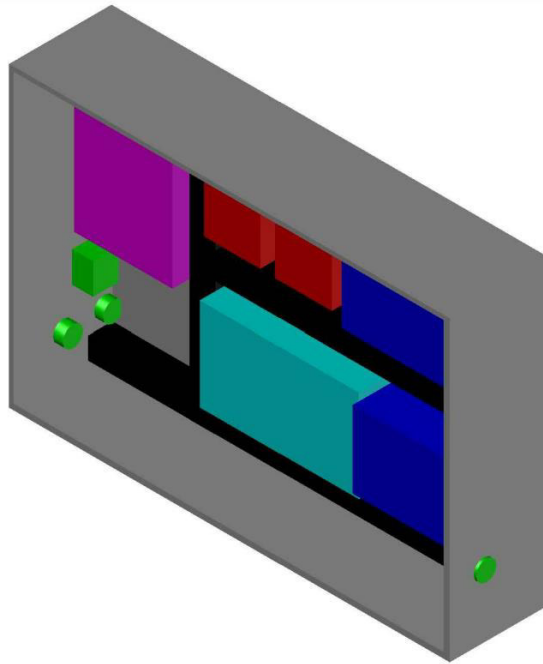


**Figura 2.20.** Tablero de control vista frontal

1. Fuentes de alimentación
2. Borneras terminales.
3. Relés.
4. Arduino mega.
5. Drivers y acondicionadores.

6. Terminales de conexión de alimentación y de comunicación
7. Canaletas ranuradas.
8. Riel DIN.

La Figura 2.21 muestra el diseño de una simulación de la representación gráfica en vista isométrica del tablero de control con todos sus elementos.

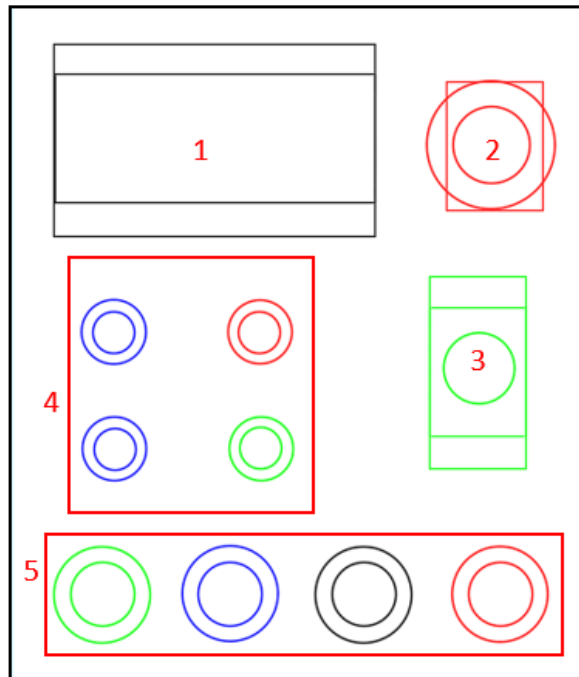


**Figura 2.21.** Tablero de control en vista isométrica

El mando local posee en su interior los elementos de maniobra, indicadores luminosos y visualizador LCD; distribuidos y colocados en la superficie fija; como se muestra en la Figura 2.22.

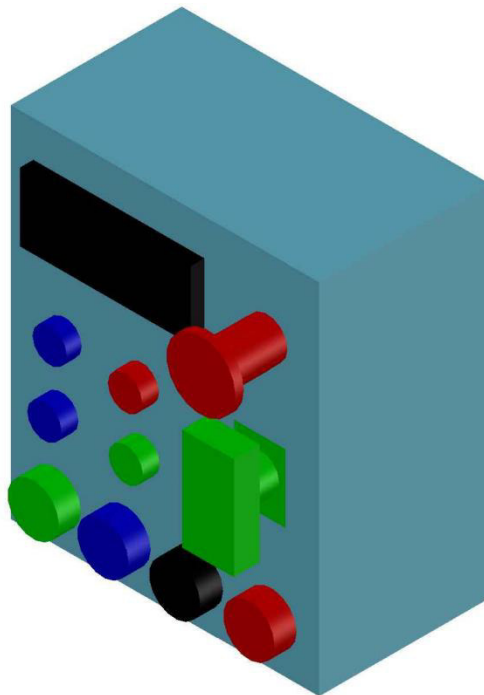
1. Visualizador LCD.
2. Pulsador de emergencia.
3. Pulsador de encendido y apagado.
4. Pulsadores de control y selección.
5. Luces indicadoras.





**Figura 2.22.** Tablero de mando local vista frontal

La Figura 2.23 muestra una vista isométrica de la simulación de la distribución de los diferentes elementos en el tablero de control.



**Figura 2.23.** Tablero de mando local vista isométrica

### 2.3.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

El sistema eléctrico y electrónico del dosificador requiere de dos tipos de voltaje como son de corriente continua en 5V y 12V; y de corriente alterna en 110V.

Para el suministro de corriente alterna se requiere de conectar directamente de un toma eléctrico monofásico tradicional, mientras que para la corriente continua es necesario un tratamiento de transformación y de reducción del voltaje, para lo cual se utiliza una fuente de alimentación conmutada, como la que se muestra en la Figura 2.24.

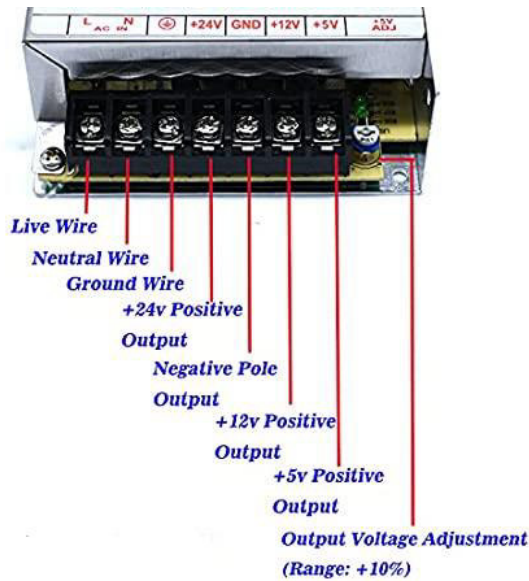


**Figura 2.24.** Fuente de alimentación conmutada de salida triple

La fuente de alimentación utilizada es de la marca Min Hong de las siguientes características principales [22]:

- Voltaje de entrada: 88 – 264 VAC.
- Frecuencia de operación: 47 – 63 Hz
- Corriente de entrada: 2.5 A
- Protección contra sobrevoltaje y contra sobre corriente.
- Dimensiones: 159 x 97 x 38 mm (L\*A\*H)
- Voltajes de salidas: 5V, 12V y 24V.
- Corrientes de salidas: 8A, 8A y 3A.
- Terminal ajustable de precisión para voltaje de 5V.

La Figura 2.25 indica los terminales de conexión habilitados para la manipulación y control de la fuente de alimentación.



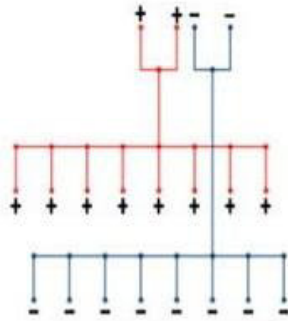
**Figura 2.25.** Bornera terminal de fuente de alimentación conmutada triple [22]

Para una adecuada distribución de los diferentes voltajes, se utiliza dos borneras terminales con tornillo de 2 x 8 con sujeción para riel DIN, como se indica en la Figura 2.26; donde en una bornera se encuentra la distribución de +5V y GND, mientras que en la otra esta la distribución de +12V y GND.



**Figura 2.26.** Bornera terminal con tornillo 2 x 8

El suministro de voltaje hacia las borneras se realiza directamente de los terminales de la fuente de alimentación con cable sólido AWG 18, mientras que desde las borneras hacia los respectivos receptores se realiza con cable AWG 22. Posee conexiones internas como se muestra en la Figura 2.27, para garantizar la distribución y asignación de pines de las borneras con tornillos.



**Figura 2.27.** Conexión interna de la bornera terminal con tornillo 2 x 8

### 2.3.2 SENSORES DE NIVEL

El dosificador en la parte de la tolva debe tener indicadores de nivel, por lo cual se colocan sensores capacitivos para detectar la presencia de la cebada a diferentes niveles en la tolva según donde se ubiquen los sensores.

Los sensores utilizados son de la serie LJC18A3 – B – Z / BY y se muestra en la Figura 2.28; los cuales poseen las siguientes características [23]:

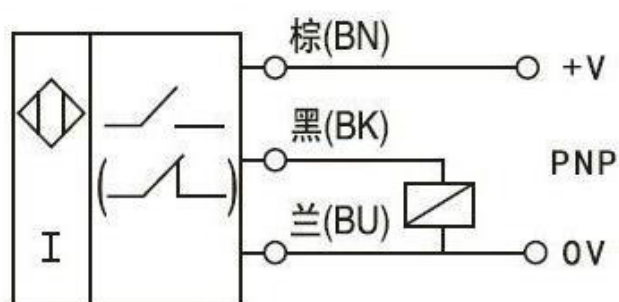
- Voltaje de Operación: 6 - 36V DC
- Corriente de trabajo: 20mA máx.
- Corriente de salida: 300mA máx.
- Rango de detección: 1mm a 5mm
- Salida: Tipo PNP, NO
- Dimensiones: 18mm x 70mm (D x L)
- Cuerpo metálico roscado
- Indicador de detección: LED rojo
- Protección: IP67



**Figura 2.28.** Sensor capacitivo LJC18A3 – B – Z / BY

Como muestra la Figura 2.29. el sensor capacitivo posee tres cables de conexión, en donde cada cable requiere de una conexión en específico como se muestra a continuación [24]:

- BN (Color negro): Alimentación positiva del sensor.
- BK (Color café): Salida tipo relé del sensor.
- BU (Color azul): Alimentación negativa del sensor.



**Figura 2.29.** Diagrama de conexión de Sensor capacitivo LJC18A3-B-Z/BY [24]

El sensor capacitivo al ser tipo PNP con un contacto normalmente abierto, se va a generar en la salida el VCC de alimentación al momento de ausencia del producto, mientras que en presencia de la cebada, en la salida estará GND.

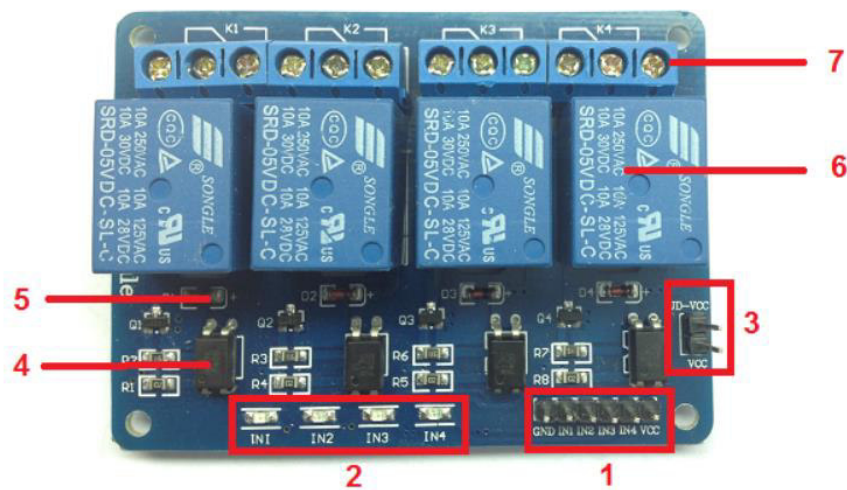
La tolva tiene colocada dos sensores capacitivos, uno que representa el nivel muy bajo y está ubicado en el tubo vertical inmediatamente antes del tornillo sin fin; mientras que el segundo sensor está ubicado en la tolva a la altura de 20 cm del diámetro menor del tronco de cono que representara el nivel bajo.

### 2.3.3 RELÉS

El acoplamiento entre diferentes niveles de voltajes se realiza mediante relés. El dosificador requiere de dos tipos de acoplamiento, uno que va destinado a activar las luces indicadoras en el mando local y otro que lee los sensores capacitivos, ambos serán comandados por el Arduino del dosificador.

Para las luces indicadoras se utiliza un módulo de 4 relés a 5V, donde IN1, IN2, IN3, IN4 son las entradas conectadas a entradas digitales de Arduino a un voltaje de 5V; mientras que los pines K1, K2, K3, K4 se conectaron las salidas de los focos indicadores rojo, azul, verde y amarillo respectivamente en los contactos normalmente abiertos.

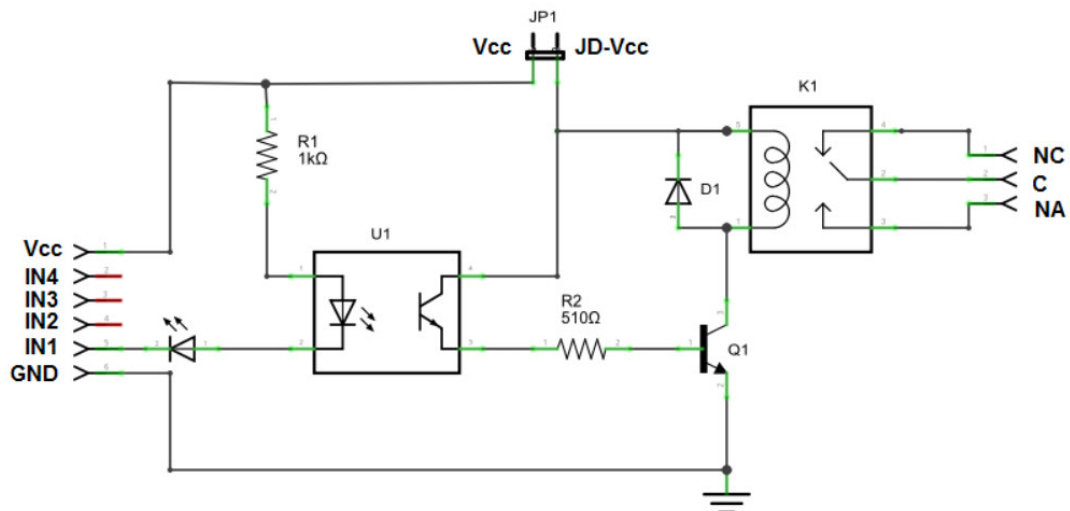
El módulo de relés posee las siguientes partes como muestra la Figura 2.30.



**Figura 2.30.** Partes de módulo de 4 relés de 5V [25]

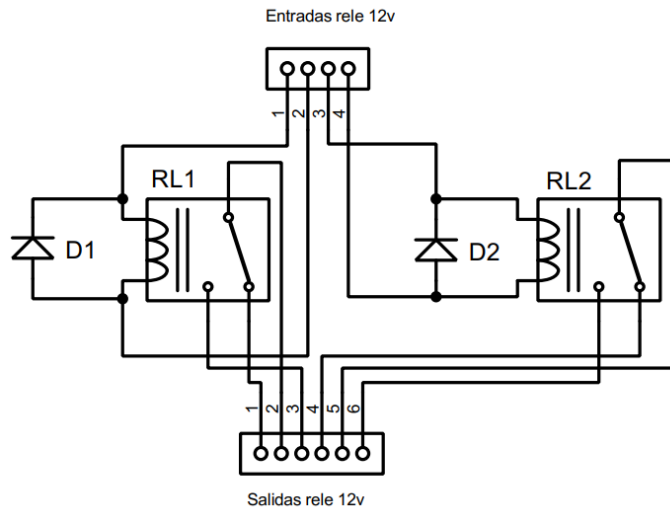
1. Pines de conexión de entrada (GND, IN1, IN2, IN3, IN4, VCC)
2. Leds indicadores de entradas (IN1, IN2, IN3, IN4)
3. Jumper selector de alimentación de los relés (JD-VCC, VCC)
4. Optoacopladores FL817C
5. Diodo de protección colocado antiparalelo al relé.
6. Relé con bobinas de 5V y contactos de salida de 10A
7. Borneras terminales con contacto común, NO y NC.

La Figura 2.31 muestra el esquema de conexión interna de la placa del módulo de relés para la entrada uno, tomando en cuenta que para las demás entradas existe un esquema igual al que se represente a continuación.



**Figura 2.31.** Circuito esquemático interno del módulo de 4 relés de 5V [26]

Por otra parte, los relés que leen los sensores capacitivos son un acoplamiento de voltajes, con entrada a 12V en las bobinas desde los sensores, mientras que la salida del contacto normalmente abierto es alimentada con 5V conectadas a las entradas digitales del Arduino. El esquema de conexión de estos relés se muestra en la Figura 2.32.



**Figura 2.32.** Diagrama de conexión de relés de 12V para sensores capacitivos

### 2.3.4 SENSOR DE PESO

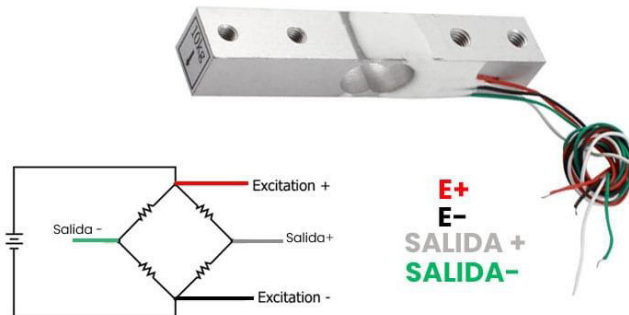
Para medir la cantidad de producto dosificado, el prototipo posee una celda de carga de 10 kg de capacidad colocada en la parte inferior de la estructura. De las siguientes características [27]:

- Carga nominal: 10Kg / 22lb.
- Potencia nominal:  $1 \pm 0,15$  mV / V.
- Resistencia de entrada:  $1066 \pm 20$  Ohm.
- Resistencia de salida:  $1000 \pm 20$  Ohm.
- Temperatura de trabajo:  $-20$  ° C a  $+ 65$  ° C.
- Sobrecarga de seguridad: 120% F.S.
- Alimentación recomendada: 5VCC

Posee cuatro cables para su respectiva conexión en los cuales son identificados con color: rojo para alimentación positiva, negro para alimentación negativa, blanco es la salida positiva y verde es la salida negativa, como se muestra en la Figura 2.33.

## PINOUT Celda De Carga

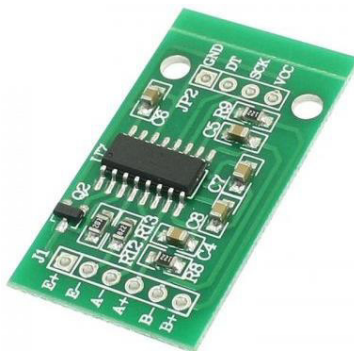
**SOPORTA  
10Kg/22 lb**



**Figura 2.33.** Pines de salida de la celda de carga de 10 kg [28]

La lectura de la celda de carga se realiza mediante la variación del voltaje de salida y la amplificación a un voltaje entre 0V y 5V que se realiza mediante el módulo de acondicionamiento HX-711 como el que se muestra en el Figura 2.34, de las siguientes características [29]:

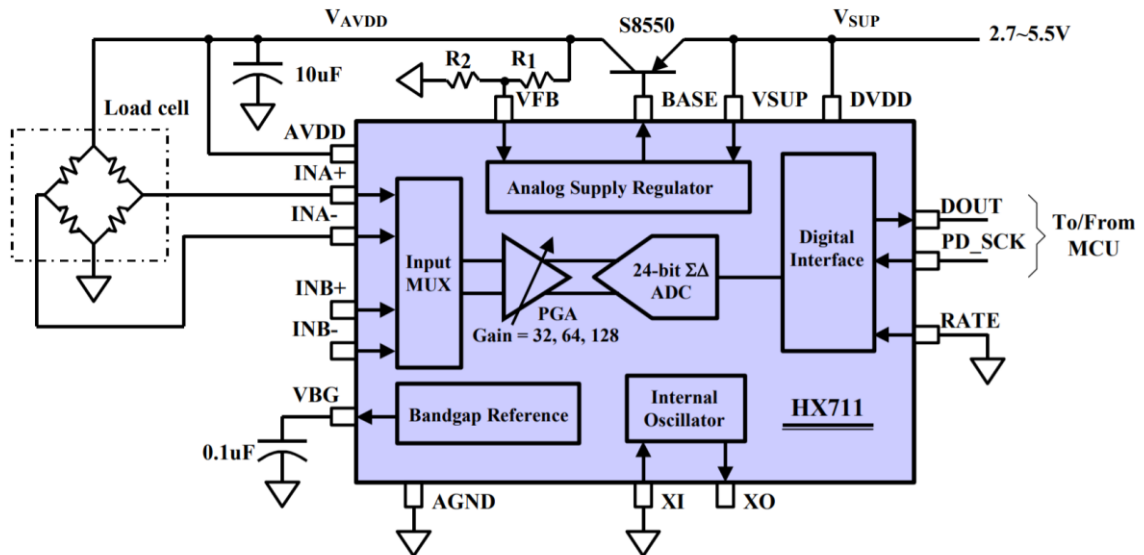
- Circuito integrado: HX - 711
- Voltaje de operación: 5V DC.
- Consumo de corriente: 10mA.
- Voltaje de entrada diferencial:  $\pm 40\text{mV}$ .
- Resolución: convertidor A/D 24 bit
- Frecuencia de lectura: 80 Hz.
- Dimensiones: 38mm x 21mm x 10mm (L x A x h)
- Entrada: 2 tipo diferenciales.



**Figura 2.34.** Módulo de acondicionamiento de la celda de carga HX – 711



La Figura 2.35 muestra la conexión interna que posee el módulo de acondicionamiento de la celda de carga. Donde incluye circuito integrado, resistencias, condensadores, entre otros.



**Figura 2.35.** Diagrama de conexión interna del HX - 711

La conexión de los pines utilizados de entrada y salida del módulo HX – 711 se detalla a continuación:

- E+: Alimentación positiva hacia la celda de carga.
- E-: Alimentación negativa hacia la celda de carga.
- A-: Lectura de datos negativa de la celda de carga.
- A+: Lectura de datos positiva de la celda de carga.
- GND: Alimentación negativa para el HX – 711
- DT: Salida serial de datos hacia el microcontrolador.
- DT: Entrada serial clock desde el microcontrolador.
- VCC: Alimentación positiva para el HX – 711

### 2.3.5 ACTUADOR

El dispositivo que hace girar el tornillo sin fin y permite la dosificación del producto, es un motor eléctrico, como el mostrado en la Figura 2.36, el cual posee las siguientes características [30]:

- Voltaje de operación: 12VCC
- Velocidad: 76 RPM

- Corriente pico: 5.5A
- Torque: 45 kg.cm
- Dimensiones: 37mm x 57mm (D, L)
- Marca: Pololu, Metal Gearmotors
- Piñón: Tipo helicoidal



**Figura 2.36.** Motor con caja reductora Pololu

El motor elegido cumple con la función de mover el tronillo sin fin y el producto, debido a que es de potencia y torque mayor al requerido. Posee dos terminales de conexión que pueden ser alimentados de manera directa de la fuente de voltaje, como también por control PWM.

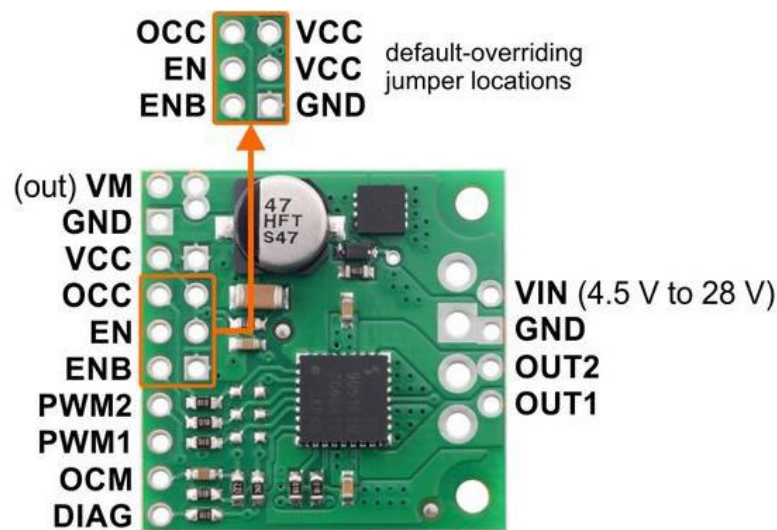
Con el objetivo de controlar la velocidad, la corriente, la potencia y el torque del motor durante todo el proceso de su funcionamiento, se emplea el driver recomendado por el fabricante del motor, que es Modulo controlador de motor de CC con escobilla simple como el mostrado en la Figura 2.37; el cual posee como circuito integrado de control al TB9051FTG, el cual posee las siguientes características [31]:

- Driver: TB9051FTG
- Voltaje de operación: 4.5 VCC a 28 VCC
- Corriente pico de salida: 5 A
- Corriente nominal de salida: 2.6 A
- Sensor de corriente: 0.5 V/A
- Modulación de salida: Tipo PWM.
- Frecuencia máxima de trabajo: 20 kHz
- Dimensiones: 2.54 mm x 2.54 mm x 0.75 mm (L x A x h)



**Figura 2.37.** Modulo controlador de motor de CC con escobilla simple

El driver posee terminales de conexión para la parte de control en un costado y para la parte de potencia en el lado opuesto como muestra la Figura 2.38. Mientras que la Tabla 2.4 contiene la descripción de cada uno de los terminales.



**Figura 2.38.** Terminales de conexión de modulo controlador de motor CC

**Tabla 2.4.** Descripción de los pines de conexión del módulo controlador de motor CC

PIN	DESCRIPCIÓN
VIN	Voltaje de alimentación al motor, soporta voltajes entre 4,5V a 28V con protección inversa.
GND	Puntos de conexión a tierra para el motor y suministros lógicos.
VM	Da acceso a la fuente de alimentación del motor después del MOSFET de protección de voltaje inverso; generalmente se utiliza como salida, pero también se puede usar para suministrar energía a la placa.
OUT1	Terminal uno de salida hacia el motor.
OUT2	Terminal dos de salida hacia el motor.
VCC	Entrada de alimentación lógica de 5V para la parte de control.

OCC	Respuesta de sobre corriente. Con GND permanece deshabilitado después de una condición de sobre corriente; con VCC automáticamente intenta reanudar la conducción después de un breve retraso.
EN	Habilita la entrada. Cuando EN es bajo, OUT1 y OUT2 se establecen en alta impedancia. Se puede aplicar PWM a este pin
ENB	Entrada de habilitación invertida. Cuando ENB es alto, OUT1 y OUT2 se establecen en alta impedancia. Se puede aplicar PWM invertido a este pin.
PWM1	Entrada de control o PWM para OUT1.
PWM2	Entrada de control o PWM para OUT2.
OCM	Salida de monitoreo de corriente. Proporciona un voltaje de retroalimentación de detección de corriente analógica de aproximadamente 500 mV por amperio.
DIAG	Salida de error de diagnóstico. Con nivel bajo manifiesta que se ha producido ciertas fallas o cuando el controlador está deshabilitado por las entradas EN o ENB. De lo contrario, cuando esta sin fallas, el pin se coloca en VCC.

El módulo driver para el motor del tornillo sin fin, en sus terminales de control; están conectado los pines OCC y EN con VCC; ENB con GND; para la alimentación en la parte de control del módulo está conectado VCC y GND hacia la bornera terminal de 5VCC y GND; los pines PW1 y PW2 están dirigidos hacia las salidas PWM del Arduino; el pin OCM que es el encargado del sensado de la corriente, está dirigido hacia la entrada analógica del Arduino y el pin DIAG está conectado con una entrada digital del Arduino para recibir el diagnostico de funcionamiento del motor. Para los terminales de potencia, los que van dirigidos hacia el motor, los pines VCC y GND están conectados hacia la bornera terminal de 12VCC y GND; los pines OUT1 y OUT2 están conectados con los terminales del motor, tomando en cuenta que el giro del motor sea en sentido antihorario.

### 2.3.6 PULSADORES

El dosificador en su parte de mando local tiene colocados pulsadores de diferente tipo como son:

- Pulsador de Emergencia
- Pulsadores de encendido y apagado.
- Pulsadores de selección y mando.

El pulsador de emergencia es tipo hongo de 22 mm como el que se muestra en la Figura 2.39; utilizado para detener los elementos de maniobra de manera inmediata y sobre cualquier situación de operación. Posee un contacto normalmente cerrado, al cual está conectado con GND en el un terminal y el otro a una entrada digital del Arduino [32].



**Figura 2.39.** Pulsador de emergencia tipo hongo

Los pulsadores de encendido y apagado están unificados en una sola estructura física donde posee dos contactos, uno normalmente cerrado para el pulsador de apagado y otro normalmente abierto para el pulsador de encendido, tal como se muestra en la Figura 2.40. Para los dos pulsadores se encuentra conectado en un terminal a GND, mientras que en los otros terminales están destinados hacia entradas digitales del Arduino.



**Figura 2.40.** Pulsador de encendido y apagado

Los pulsadores de selección y mando son de 16 mm de diámetro, como se muestra en la Figura 2.41; están identificados por colores según su funcionalidad, es decir, pulsadores destinados a bajar y subir el cursor o los valores son de color azul, el pulsador de aceptar es de color verde y el pulsador de cancelar es de color rojo. Todos estos pulsadores son normalmente abiertos, de los cuales uno de sus respectivos terminales se encuentran conectados a GND y los otros terminales van dirigidos hacia las entradas digitales del Arduino.



**Figura 2.41.** Pulsadores de selección y mando

### 2.3.7 VISUALIZADOR LCD

El visualizador utilizado para el mando local del dosificador fue el LCD 20 x 4 debido a que ocupa poco espacio en su colocación y al ser de 4 filas permite visualizar de mejor manera la información proyectada, así como un mayor número de caracteres al mismo tiempo, como se muestra en la Figura 2.42.



**Figura 2.42.** LCD 20 x 4

El LCD 20 x 04 posee las siguientes características [33]:

- Voltaje de Operación: 5 VCC
- Interfaz de comunicación: Paralelo 4 u 8 bits
- Color Texto: Blanco
- Color luz de fondo: Azul
- Filas: 4
- Columnas: 20
- Contraste de fondo: Controlado.

El LCD posee 16 terminales de conexión de los cuales todos cumplen una función específica que se detalla a continuación en la Tabla 2.5 [34].

**Tabla 2.5.** Descripción de pines de conexión del LCD

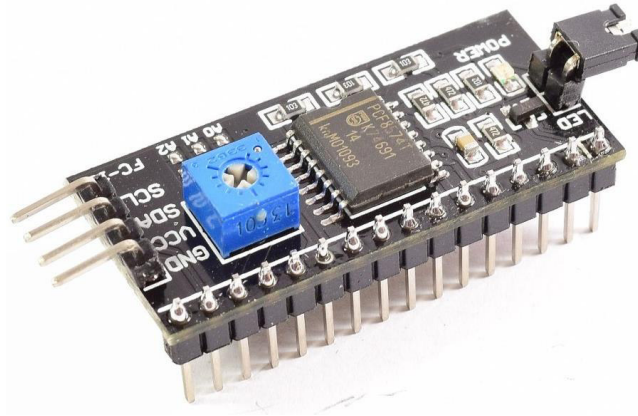
<b>PIN</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>FUNCIÓN</b>
1	VSS	Alimentación negativa del circuito
2	VDD	Alimentación positiva del circuito
3	V0	Ajuste de contraste
4	RS	Registro de selección de señal
5	RW	Señal de escrita y lectura
6	E	Habilitación de señal
7	D0	Línea de bus de datos 0
8	D1	Línea de bus de datos 1
9	D2	Línea de bus de datos 2
10	D3	Línea de bus de datos 3
11	D4	Línea de bus de datos 4
12	D5	Línea de bus de datos 5
13	D6	Línea de bus de datos 6
14	D7	Línea de bus de datos 7
15	A	Alimentación positiva de luz de fondo
16	K	Alimentación negativa de luz de fondo

Está disponible en el mercado un módulo de transmisión I2C como el que se muestra en la Figura 2.43; que actúa entre el microcontrolador y el LCD, el cual permite ahorrar espacio en conectar cada uno de los cables debido a que se conecta directamente a los pines del LCD. Se reduce únicamente a cuatro pines de control con conexión hacia el microprocesador, teniendo disponibles todas y cada una de las funciones del LCD.

El módulo I2c para LCD utilizado posee las siguientes características [35]:

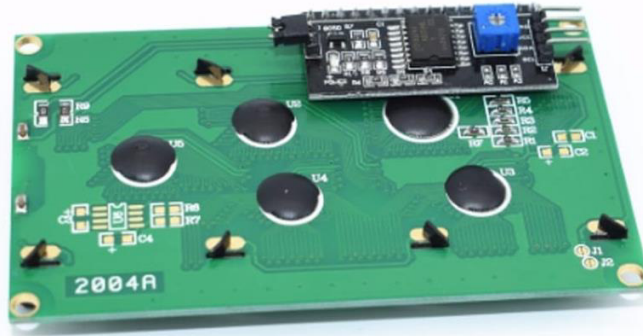
- Voltaje de alimentación: 5 VCC.
- Circuito integrado: PCD8574.
- Dirección I2C: 0x3F o 0x27
- Transmisión de datos: Protocolo I2C.
- Jumper para luz de fondo.

- Potenciómetro ajustable de contraste.



**Figura 2.43.** Módulo de comunicación I2C para LCD

Al poseer comunicación I2C se comunica únicamente por dos pines que son SDA y SCL, correspondientes a transmisión de datos y la señal de reloj, respectivamente, los cuales están conectados a los pines destinados para comunicación I2C de Arduino como son los pines SDA y SCL. Además, requiere de alimentación de 5 VCC mediante los pines de VCC y GND. La conexión entre el módulo I2C y el LCD 20 x 4 toma como referencia el pin 1 del LCD con el pin donde se encuentran colocados los terminales de alimentación del módulo I2C como se muestra en la Figura 2.44.



**Figura 2.44.** Modulo I2C en conexión con LCD 20 x 4

### 2.3.8 LUCES INDICADORAS

La caja de mando local posee luces piloto o indicadores, las cuales permiten saber el estado de varios aspectos y procesos que este pasando en el dosificador. Se emplearon luces de color azul, amarillo, verde y rojo; tal como muestra la Figura 2.45.





**Figura 2.45.** Luces indicadoras existentes en el mando local.

Entre sus principales características están: su voltaje de funcionamiento es de 110V de corriente alterna y su diámetro de rosca es de 22 mm. Su conexión se realiza conectando un terminal de cada una de estas luces hacia el punto neutro de la fuente de alimentación, mientras que los otros extremos van hacia las salidas del módulo de relés de 5V; siendo activas por acción de salidas digitales del Arduino y acondicionadas por el módulo de relés.

### 2.3.9 COMUNICACIÓN

El prototipo dosificador posee comunicación serial, la cual se encuentra conectado entre el computador y el prototipo mediante el cable USB, directamente.

En la parte del computador se conecta desde un puerto USB disponible, mientras que en el otro extremo que es de conexión con el Arduino mega en el prototipo se utiliza un puerto USB para montaje, como el que se muestra en la Figura 2.46; el cual está colocado en el tablero de control.



**Figura 2.46.** Puerto USB para montaje

Se deja instalado los respectivos elementos para futuras ampliaciones y mejoras con una comunicación RS – 485, como es el conversor TTL a RS – 485 en su respectiva baquelita y pines de conexión, así como los terminales de conexión tipo montaje ubicados en un extremo de la estructura.

### 2.3.10 ARDUINO

El sistema de dosificación por peso de la cebada funciona bajo el sistema maestro – esclavo. Que involucra la interfaz hombre – máquina y el prototipo dosificador. El Arduino se encuentra colocado sobre un “shield” con borneras terminales con tornillo para un mejor cableado y conexión.

El Arduino utilizado para el prototipo dosificador es el Arduino mega debido a que posee características superiores comparado con otros Arduinos como el nano y el uno, principalmente. Como son más cantidad de puertos digitales, de tal forma que se deja puertos libres para futuras ampliaciones y mejoras.

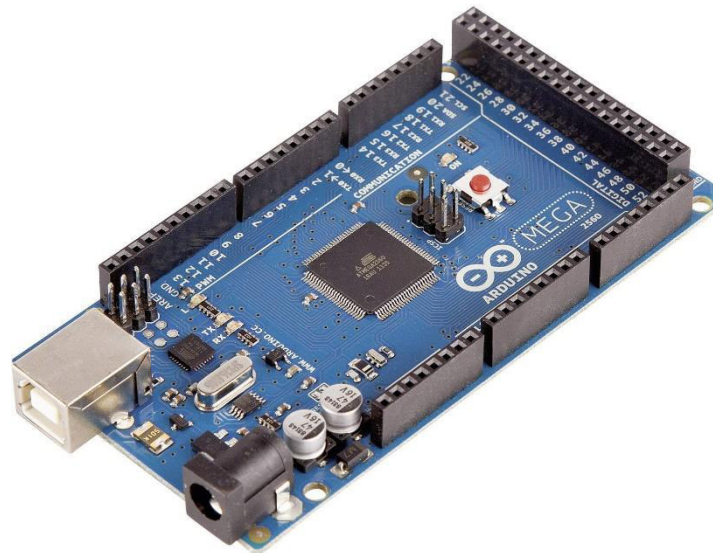
La Tabla 2.6 muestra las características del Arduino mega [36].

**Tabla 2.6.** Características Arduino Mega

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Microcontrolador	ATmega 2560
Voltaje de funcionamiento	5 V
Voltaje de entrada	7 – 12 V
Pines digitales	54
Pines PWM	14
Pines analógicos	16
Memoria flash	256 kB
SRAM	8 kB
EEPROM	4 kB
Velocidad de reloj	16 MHz

El Arduino mega, como el mostrado en la Figura 2.47; posee pines y terminales de conexión utilizados en cada uno de sus respectivos prototipos dosificadores que se detallan a continuación [37]:

- Entradas digitales: Pulsadores de control y selección, pulsador de emergencia, pulsadores de encendido y apagado, sensores de nivel, diagnóstico del motor, celda de carga.
- Entradas analógicas: Sensor de corriente del motor.
- Salidas PWM: Motor
- Salidas digitales: Luces indicadoras, celda de carga.
- Comunicación: Visualizador LCD, modulo TTL a RS - 485.
- Alimentación: Vin y GND.



**Figura 2.47.** Arduino mega

### 2.3.11 PCBs

La mayoría de los elementos poseen su propio modulo o carcasa que facilita su colocación y cableado como son borneras, Arduino, entre otros. Sin embargo algunos elementos que no cuentan con módulos de conexión disponibles por parte de fabrica o que requieren ser modificados para cumplir las funciones específicas, necesitan de placas PCB, como son los casos del módulo HX - 711, los relés de 5 V, entre otros.

Se tomo en cuenta las normas IPC para la elaboración de las PCB donde se recalcan características importantes a tomar en cuenta como son [38]:

- Los pines de conexión externas deben quedar en los filos de las PCB.
- Los elementos deben estar en posición vertical u horizontal, no de manera oblicua.
- Evitar utilizar conexiones externas para completar el desarrollo de la PCB.
- Crear malla de tierra alrededor de los circuitos y pistas para evitar la creación de interferencias con ruidos y señales externas.
- Evitar realizar curvas a noventa grados.
- El espacio mínimo entre pistas, elementos debe ser de 0.5 mm, debido al voltaje que circulan a través de las pistas.
- El ancho mínimo de las pistas debe ser de 35 micras, pero tomando en cuenta que el dosificador maneja corrientes hasta de 2,6 amperios; las pistas poseen un ancho de 2 mm

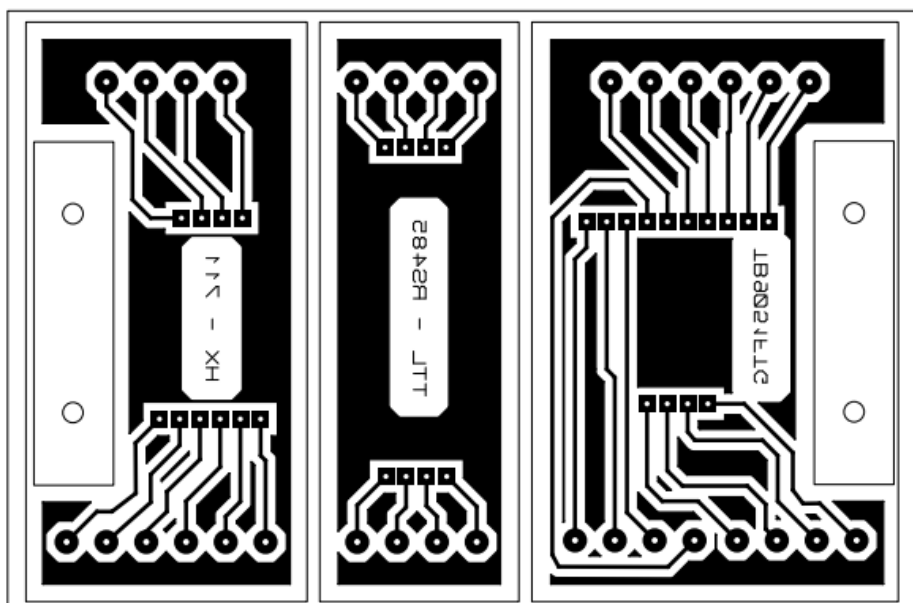
Se ha diseñado dos placas PCB; la primera que abarca el módulo TTL a RS – 485, modulo HX – 711 y el módulo TB9051FTG; la segunda placa abarca el módulo de relés de 5 V y los relés de 12 V.

Las dos placas se realizaron con la finalidad de colocar borneras terminales con tornillo para facilitar su conexión en el cableado y sujeción con la riel DIN, a excepción de la parte de los relés de 12 V, donde aparte de crear las borneras terminales, se diseñó el circuito de acondicionamiento para la lectura de los sensores de nivel.

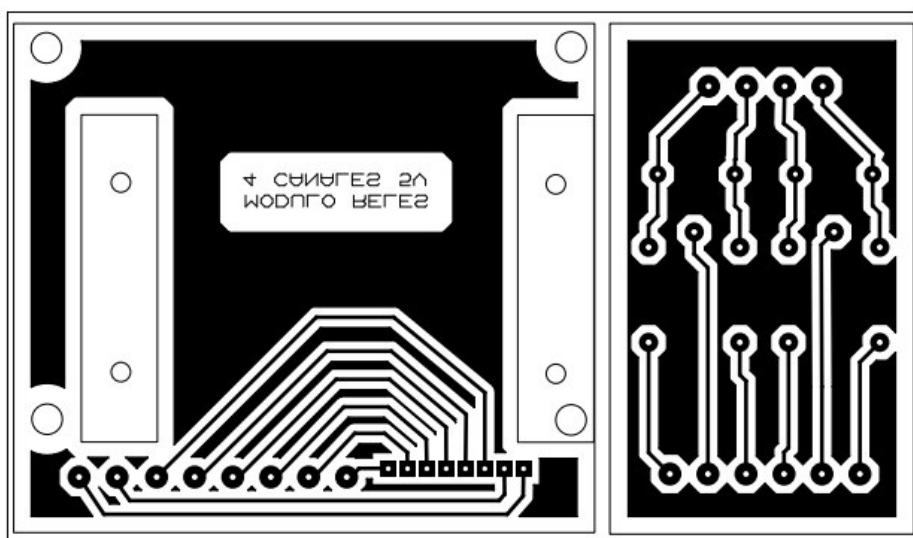
La primera placa, como se muestra en la Figura 2.48, esta dividida en tres secciones la cual contiene de manera individual cada elemento, generando conexiones entre los pines de módulos y las borneras, no posee uniones de terminales internamente, además posee espacios libres de cobre destinados a la sujeción de los acoples para la riel DIN. En la parte superior de la placa se encuentra la identificación en nombre y posición de donde va cada elemento, así como la nomenclatura abreviada de cada uno de los terminales de conexión en las borneras.

La segunda placa, como se muestra en la Figura 2.49, está dividida en dos secciones, las cuales contiene de manera individual al módulo de cuatro relés de 5 V y la otra contiene al acondicionamiento de dos relés de 12 V. Para la primera sección se trazó pistas de conexiones entre los terminales de conexión del módulo de relés hacia las borneras para un mejor cableado; mientras que en la segunda sección está colocado borneras para cada terminal de los relés con su diodo antiparalelo a la bobina. En la parte superior se encuentra la nomenclatura de los terminales y los diagramas de los lugares donde están cada uno de

los elementos, al igual que el espacio destinado para la colocación de los acoples para el montaje sobre la riel DIN.



**Figura 2.48.** PCB diseñada para drivers y acondicionadores



**Figura 2.49.** PCB diseñada para relés

## 2.4. DESARROLLO DEL SOFTWARE

### 2.4.1 TRAMA DEL MENSAJE

El software implementado en el prototipo dosificador y en el HMI maneja una trama específica para el mensaje de transmisión y recepción entre los elementos involucrados.

La trama del mensaje contiene 12 bits y se encuentra detallada en la Tabla 2.7.

**Tabla 2.7.** Trama de transmisión y recepción del mensaje

Inicio	Destino	Prototipo	Función	Contenido	Fin
1 bit	1 bit	2 bits	2 bits	4 bits	1 bit

El detalle de cada una de las secciones de la trama del mensaje se muestra a continuación:

- Inicio: Esta representado por el caracter '1' que significa el inicio del mensaje.
- Destino: Indica el destino que tiene el mensaje, el cual puede ser '1' cuando va hacia el HMI y '2' cuando va hacia el dosificador.
- Prototipo: Representa el número del dosificador en el cual se va a ejecutar el contenido del mensaje, puede ser desde el prototipo '01' hasta el prototipo '10'.
- Función: Indica la característica que se va a modificar o a ejecutar, puede ser desde la función '01' hasta la función '12'. Cada una tiene una función específica que se representa a continuación:
  - 01: Estado de encendido del prototipo.
  - 02: Estado del nivel del producto en la tolva de almacenamiento
  - 03: Numero de ciclo en el que se encuentra el proceso.
  - 04: Peso actual sentido en el momento de la dosificación
  - 05: Número de ciclos ingresados a dosificar.
  - 06: Peso ingresado para la dosificación.
  - 07: Libre para futuras ampliaciones.
  - 08: Numero de menú en el que se encuentra el proceso.
  - 09: Porcentaje del peso al momento de la dosificación.
  - 10: Estado de emergencia.
  - 11: Estado de pausa
  - 12: Estado del motor

- Contenido: Es el valor de la función generada en el mensaje. El cual se especifica a continuación según sea el número de la función:
  - 01: 0 (Apagado), 1 (Encendido)
  - 02: 1 (Alto), 2 (Bajo), 3 (Muy bajo)
  - 03: Valor de ciclos actuales
  - 04: Valor de peso actual
  - 05: Valor de los ciclos ingresados
  - 06: Valor de peso ingresado
  - 07: Libre para futuras ampliaciones.
  - 08: 1 (Consigna), 2 (Confirmación), 3 (Dosificando), 4 (Fin ciclo), 5 (Fin proceso)
  - 09: Valor del porcentaje de peso actual
  - 10: 0 (Desactivada), 1 (Activada)
  - 11: 0 (Desactivada), 1 (Activada)
  - 12: 0 (Apagado), 1 (Encendido), 2 (Advertencia sobre corriente), 3 (Emergencia sobre corriente)
  
- Fin: Esta representado por el caracter 'F' que significa el fin del mensaje.

## **2.4.2 DOSIFICADOR**

El software implementado en el prototipo dosificador en el Arduino mega es desarrollado en el programa Arduino IDE. Este programa se encuentra dividido en diferentes partes, como son la declaración de variables y bibliotecas, el lazo principal repetitivo y las diferentes funciones que son llamadas según sea el requerimiento.

### **2.4.2.1 Declaración de variables y bibliotecas**

Para lograr una manipulación más optima en del desarrollo del programa, se requiere declarar o llamar a diferentes tipos de variables y bibliotecas antes de iniciar el lazo principal del algoritmo y de las funciones involucradas en el programa.

La declaración de variables abarca la asignación de valores tipo entero para asignar pines de los diferentes tipos de pulsadores como son de control y selección, de encendido y apagado y de emergencia, también para la lectura discreta de los sensores de nivel, del sensor de peso, la escritura del estado de las luces indicadoras y del PWM del motor; de

igual forma también se asigna para variables de manejo interno en el algoritmo como son para el estado del motor así como su porcentaje, además del número de recetas a dosificador y las recetas actuales, del identificador del menú en el que se encuentra el proceso.

El algoritmo incluye variables tipo string dedicadas específicamente para la transmisión y recepción de datos así como de mensajes a mostrar en el LCD. Existen otro tipos de variables como son los de tipo flotantes utilizadas para la lectura y el tratamiento de los valores del peso y de corriente del motor.

La inclusión de bibliotecas facilita la operatividad de diferentes tipos de elementos y variables como son del sensor de peso y del LCD mediante el llamado a las bibliotecas HX711.h y LiquidCrystal\_I2C.h, respectivamente. Además, se requiere de bibliotecas necesarias para el funcionamiento adecuado de funciones internas como son el tratamiento de comunicación I2C y del contador del Timer, mediante las bibliotecas Wire.h y TimerOne.h, respectivamente.

#### **2.4.2.2 Lazo principal**

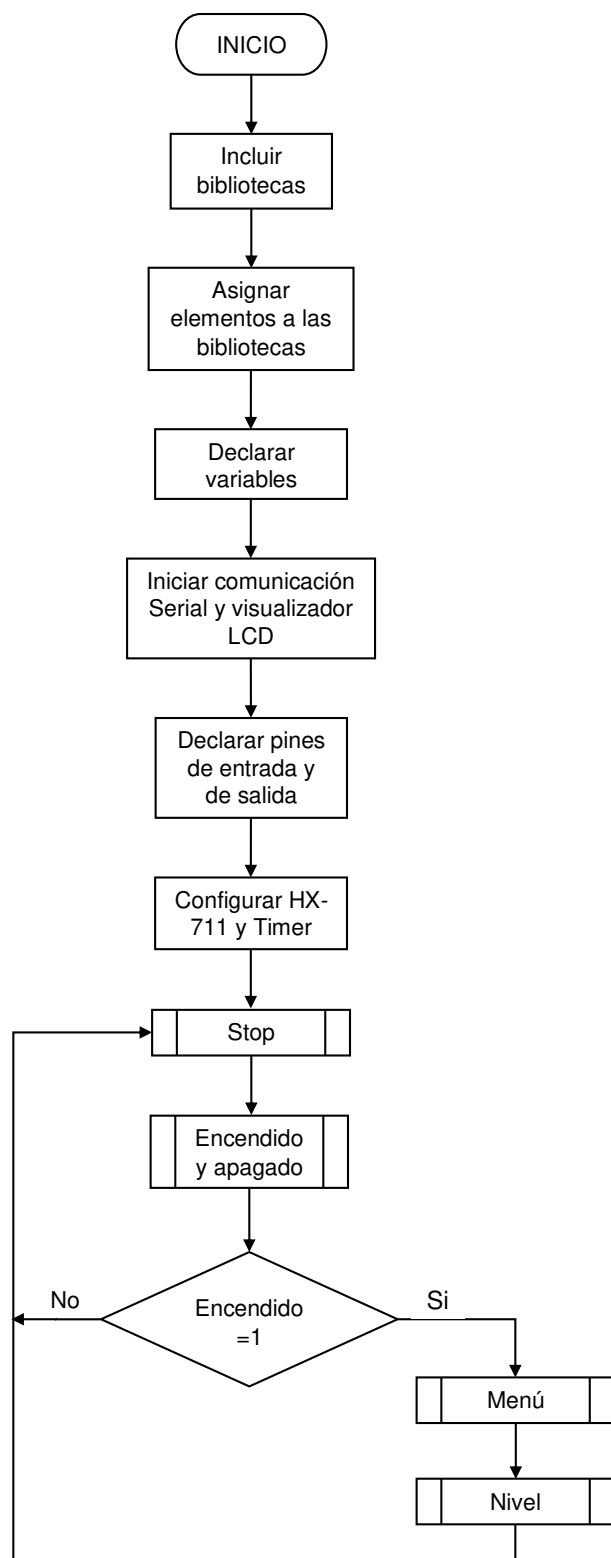
El lazo principal del programa incluye dos partes que son la configuración inicial y del lazo repetitivo.

En el primer caso, es la configuración inicial, en donde el programa barrerá el código ubicado aquí al iniciar la energización del dosificador y lo hará por una sola vez. Aquí se coloca la inicialización de la comunicación serial, la asignación de pines en entradas y salidas para los pulsadores, motor, luces indicadoras, sensores de nivel y sensor de corriente. En el caso de las entradas, están configuradas con pullup, con el fin de obtener en las entradas niveles de alto y bajo bien definidos según sea el caso. Se configura los pines del sensor de peso y la constante de escala a utilizar para la calibración correcta en su medición. Se inicializa el timer y se coloca el valor del tiempo que requiere su llamado y su función asociada correspondiente [39], [40].

El lazo repetitivo, también llamado loop, es el encargado de realizar un barrido constante mientras se encuentra energizado el dosificador. Aquí se encuentra el algoritmo principal que abarca todas las demás funciones a ser llamadas; incluye la verificación de encendido del dosificador y la posible activación del pulsador de emergencia, así como la recepción de datos provenientes del HMI. Si la variable encendido fue activada se ingresa al lazo llamado menú y a nivel; caso contrario el loop continúa barriendo. La Figura 2.50 indica el



diagrama de flujo que involucra la declaración de variables y bibliotecas, la configuración inicial y el lazo principal loop.



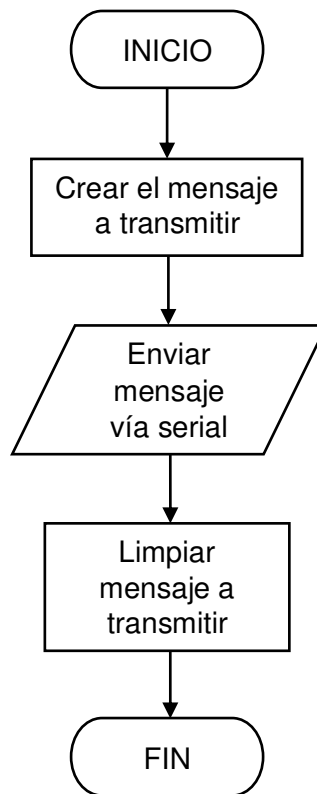
**Figura 2.50.** Diagrama de flujo de lazo principal

### 2.4.2.3 Transmisión de datos

La transmisión de datos se realiza mediante el puerto UART del Arduino mega y el puerto USB de la computadora asignada. Esta función recibe como argumento el numero de la función a enviar y el valor de esta asignación en el campo llamado contenido.

Se completa el mensaje a enviar de manera automática asignándole a cada dato recibido la variable de inicio y fin de mensaje así como el número de prototipo asignado para el dosificador programado.

Una vez finalizado el envío del mensaje, se limpia los campos recibidos como argumentos para dejar libre para cuando sea llamada nuevamente, tal como muestra el diagrama de flujo de la Figura 2.51.

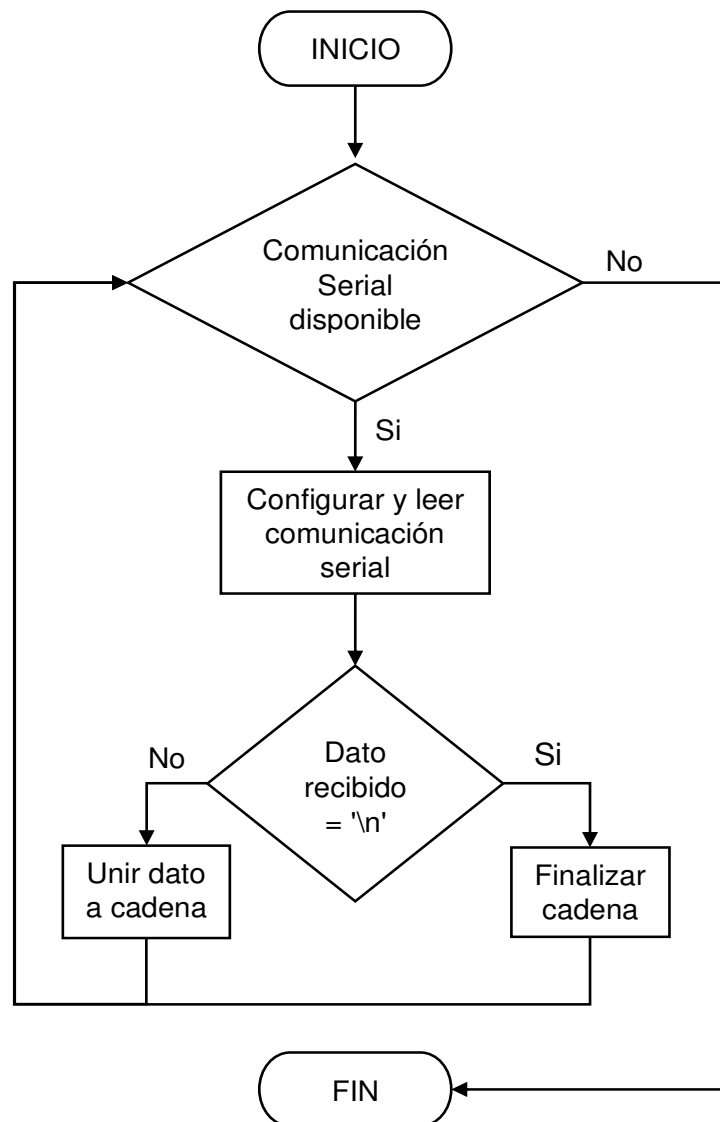


**Figura 2.51.** Diagrama de flujo de transmisión de datos

### 2.4.2.4 Recepción de datos

La recepción de datos, al igual que la transmisión, se realiza entre el puerto UART del Arduino mega y el puerto USB de la computadora, pero por la línea de recepción a diferencia del caso anterior que se realiza por la línea de transmisión.

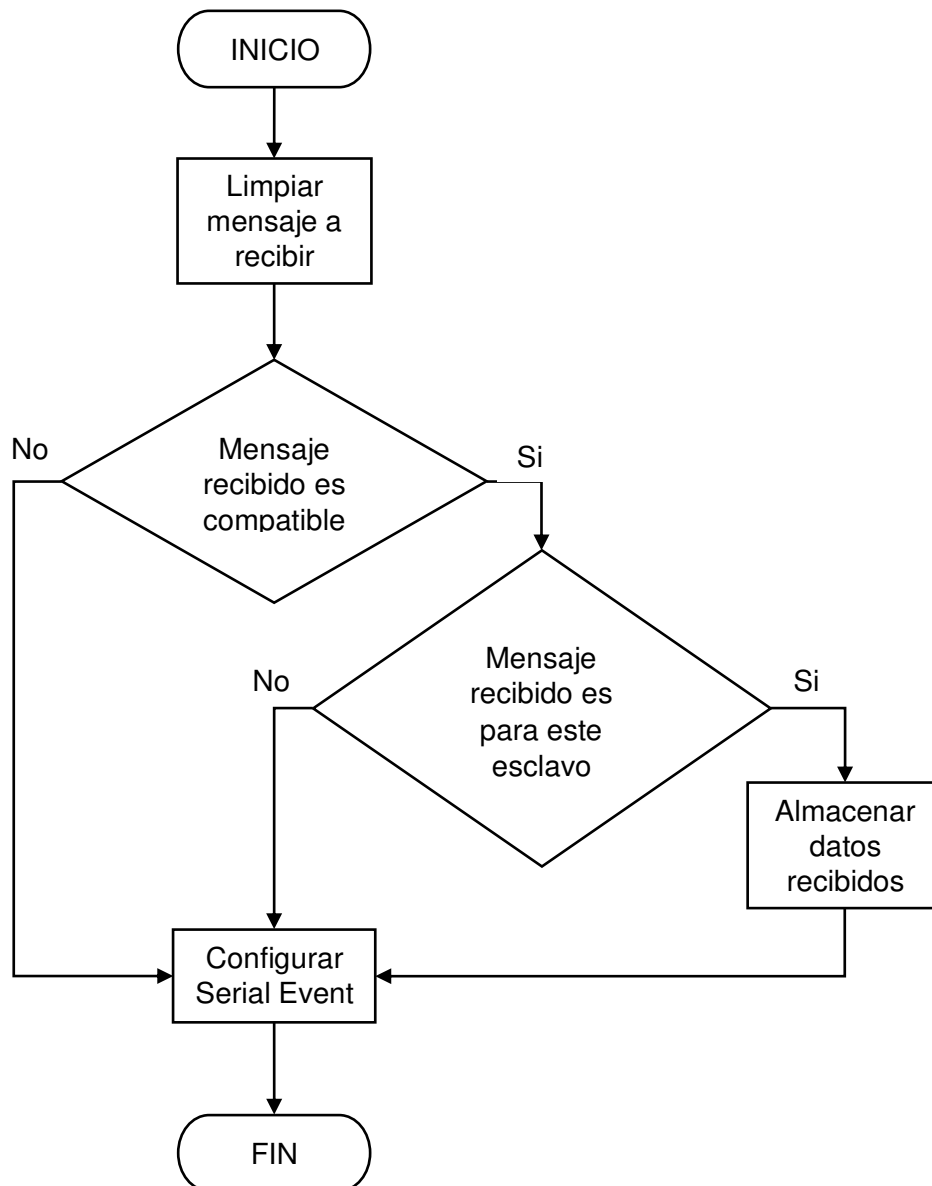
Esta función involucra de una subfunción extra que viene por defecto en Arduino llamada Serial Event, la cual permite una recepción de datos de manera paralela al desarrollo del algoritmo principal, a manera de una interrupción. En esta subfunción predomina un lazo while que mientras existan datos disponibles en el buffer de entrada serial se procede a leer bit a bit e ir almacenándoles en un solo mensaje hasta detectar un salto de línea, en donde se envía este contenido como argumento a la función llamada recibir datos, como se muestra en la Figura 2.52.



**Figura 2.52.** Diagrama de flujo de Serial Event

La función recibir datos, es la encargada de procesar la información recibida e identificar si es la correcta para el prototipo dosificador asignado. Se inicia por limpiar los registros que abarca esta función, luego se verifica si el mensaje recibido contiene la longitud en bits

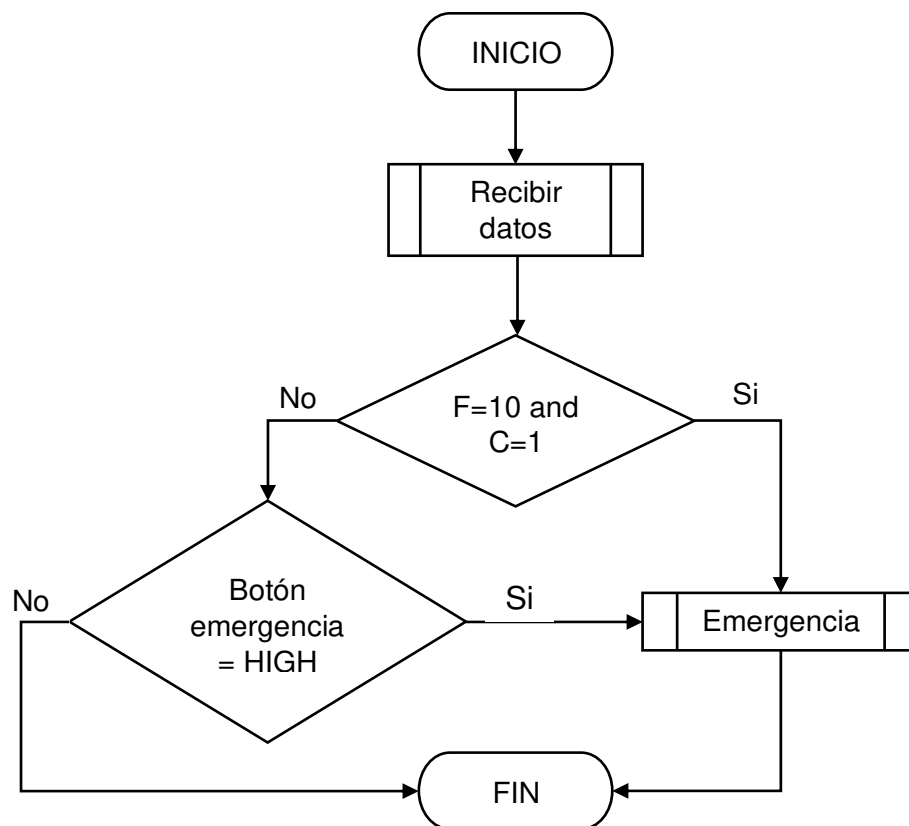
asignada a un mensaje correcto, así como los caracteres de inicio y fin; si cumple con estas características entra a un nuevo lazo donde se identifica el número de prototipo y se almacena los registros de función y contenido para enviar como argumento hacia la función que previamente fue llamada; finalmente se configura los argumento de la subfunción para volver a repetir el ciclo cuando sea llamada nuevamente la función. La Figura 2.53 indica el diagramas de flujo de la función recibir datos.



**Figura 2.53.** Diagrama de flujo de recepción de datos

### 2.4.2.5 Botón Stop

El pulsador de emergencia está configurado para actuar de manera local y remota, desde el tablero de mando o desde el HMI, respectivamente. Para lo cual al ser llamada esta función primero se llama a la función recibir datos y verificar si el contenido y la función son los adecuados para poder activar o en su defecto, si la lectura del pin del Arduino al cual esta asignado el botón de emergencia muestra un nivel alto. En el caso de ser una de estas opciones validadas se procede a llamar a la función emergencia que es donde se procesa toda la configuración involucrada al ser activada, caso contrario se da por finalizada la función; tal como se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 2.54.

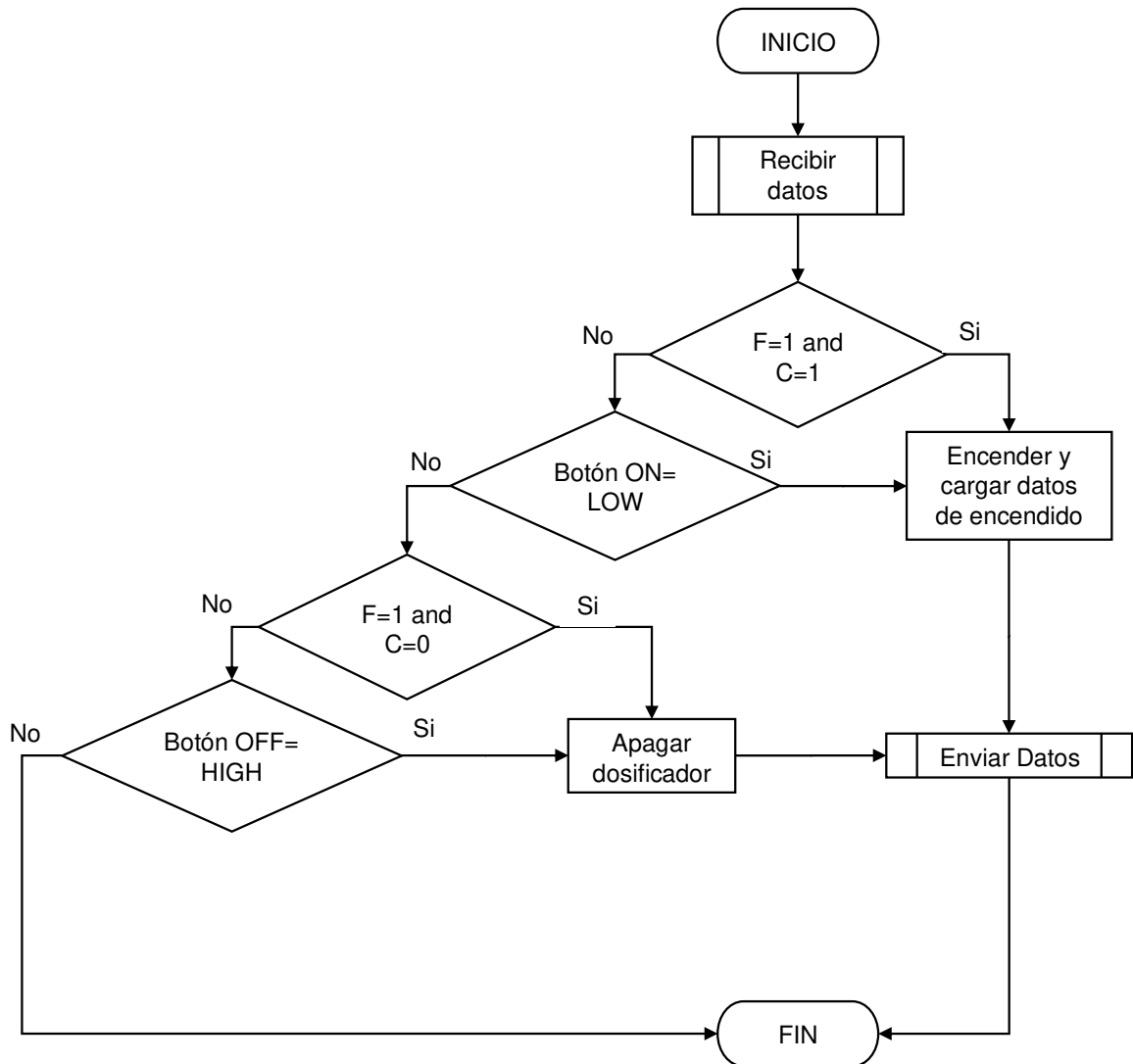


**Figura 2.54.** Diagrama de flujo de botón de emergencia

### 2.4.2.6 Encendido y apagado

El método de encender o apagar el dosificador es mediante el pulsador ON OFF tanto en mando local o los botones ON OFF en el mando remoto. Por lo tanto, primero se llama a la función recibir datos, para verificar si el numero de la función corresponde al estado de encendido del dosificador, si esta fuera correcta se verifica el contenido recibido, debido a que puede provocar el encendido o apagado. También existe la posibilidad de encender el

dosificador mediante la lectura de un nivel bajo en el botón ON, de igual forma se puede apagar el dosificador mediante la lectura de un nivel alto en el botón OFF. En el caso de que algunos de los casos anteriores fueron correctos, se ejecutan las respectivas acciones dentro del lazo y se da por finalizada la función al igual que sucede si ninguna de las opciones fuese activada y se retorna a la parte del algoritmo de donde fue llamada. Todo este proceso está representado en el diagrama de flujo de la Figura 2.55.

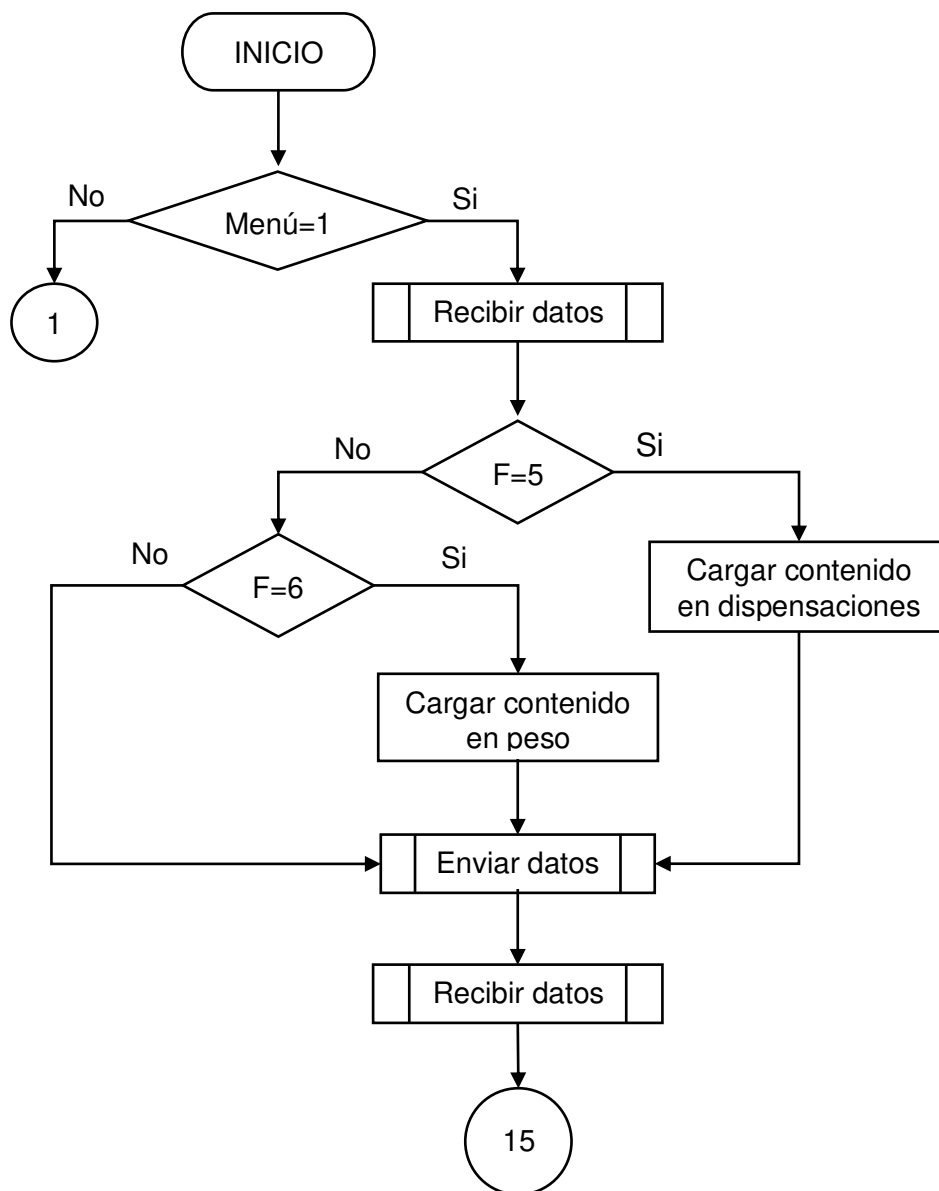


**Figura 2.55.** Diagrama de flujo de Encendido y apagado

### 2.4.2.7 Menú

Una vez verificado que el dosificador ha sido encendido se procede a llamar a la función menú, en la cual existen 5 subtipos de esta función, que abarcan todo el desarrollo del proceso.

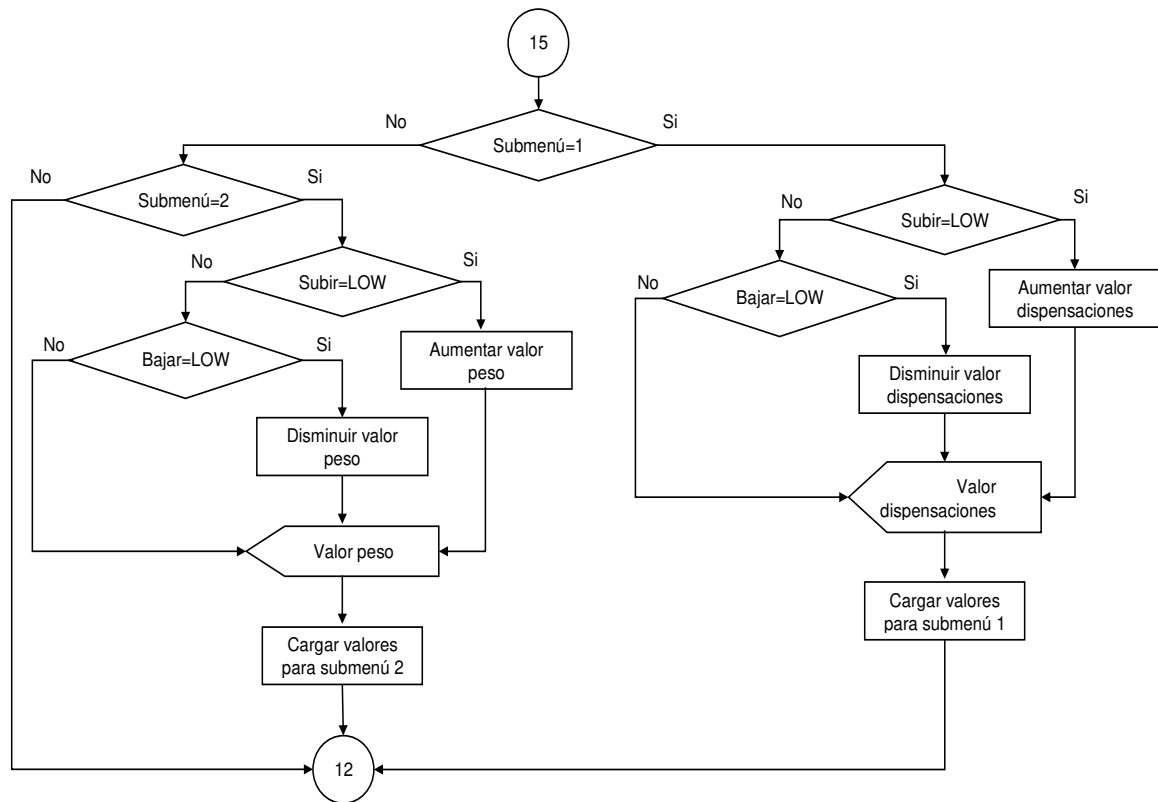
En el menú 1 se llama a la función recibir datos para obtener un nuevo valor de consigna de peso o de numero de ciclos mediante la identificación del número de función asignado, si la función fuera la correcta se carga el valor del contenido en la variable asignada, según corresponda. Luego se envía estos datos consignados al HMI. El diagrama de flujo de la Figura 2.56 indica el procedimiento antes mencionado.



**Figura 2.56.** Diagrama de flujo de Menú (Parte 1)

Lo antes mencionado también se puede realizar de manera local, mediante los pulsadores de control y selección, como lo muestra el diagrama de flujo de la Figura 2.57. En donde se puede apreciar que si se manipula los botones asignados a Subir y Bajar de manera directa, se procede a aumentar o disminuir la consigna de numero de ciclos, mientras que

si se acciona el pulsador de Enter, aquí los pulsadores de Subir y Bajar, aumentará y disminuirá la consigna del valor del peso a dosificar, respectivamente.

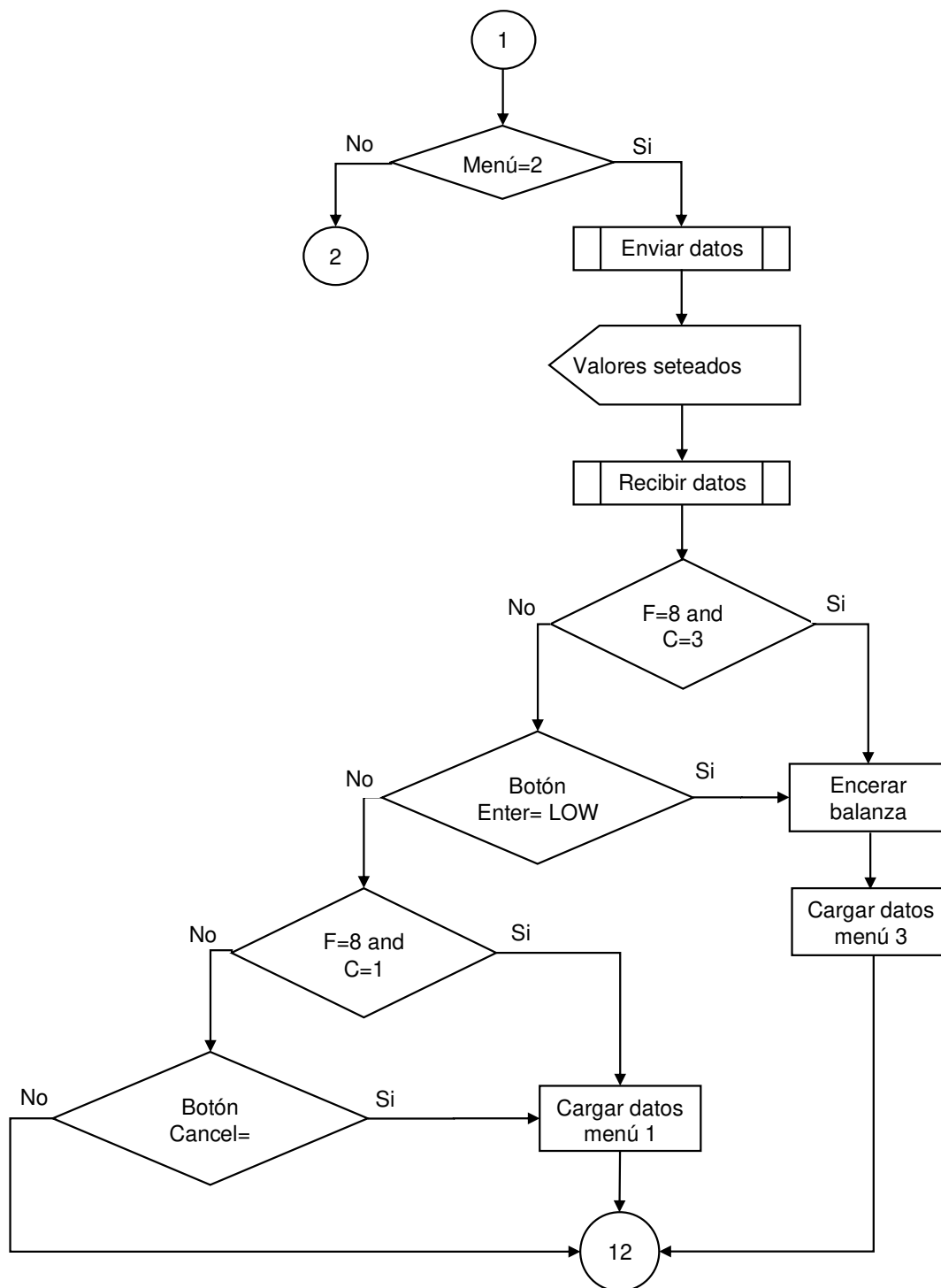


**Figura 2.57.** Diagrama de flujo de Menú (Parte 2)

En el menú 2 se muestra los datos consignados para los ciclos y el peso a dosificar en la pantalla LCD.

El diagrama de flujo del menú 2 se muestra en la Figura 2.58. En donde al iniciar el proceso se envía los datos consignados y el número del menú en el que se encuentra el mando local. Se recibe los datos que involucran la aceptación de los datos consignados o su retroceso para cambiarlos. Para aceptar los datos y avanzar al menú 3 se requiere que la función correcta abarque el contenido de menú 3 o que el nivel de lectura del botón Enter sea bajo; caso contrario con un nivel bajo del botón Cancelar o contenido de la función recibida sea de menú 1, se procederá a regresar a la pantalla de menú 1. Existe la posibilidad que durante este menú no sea activado ninguna de estas opciones, entonces permanecerá en esta pantalla hasta obtener una respuesta de las antes mencionadas.

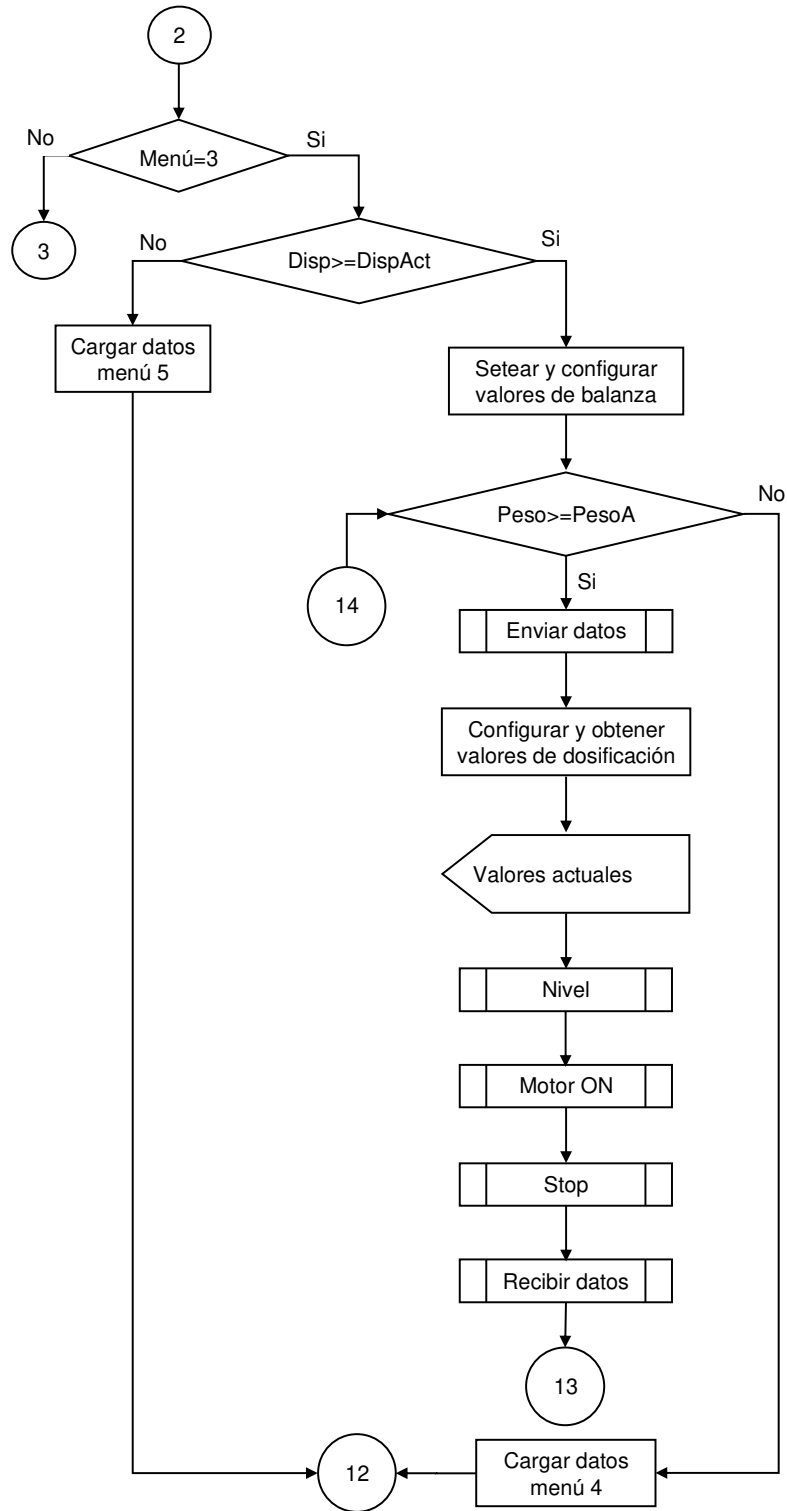




**Figura 2.58.** Diagrama de flujo de Menú (Parte 3)

El menú 3 abarca la parte de dosificación actual del proceso, en la cual se obtiene constantemente las lecturas del peso y del ciclo actual, además del valor consignado de ciclos y peso.

La Figura 2.59 muestra el diagrama de flujo correspondiente para el menú 3. El cual permanece en un lazo while hasta cuando el número de ciclo actual sea igual o mayor al número de ciclos consignados, en donde pasara al menú 5.



**Figura 2.59.** Diagrama de flujo de Menú (Parte 4)

Se procede a configurar y encender la balanza para iniciar la dosificación, luego entra a un lazo while hasta que peso actual sea igual o mayor que el peso consignado, donde pasara al menú 4. En este lazo se envía los datos obtenidos del peso y del ciclo actual en el que se encuentra y a la vez, se muestran estos en la pantalla LCD. Se activa el motor mediante la función Motor ON y se obtiene el nivel del producto existente en la tolva mediante la función Nivel, existe la posibilidad de activar el paro de Emergencia para lo cual se llama a la función Stop.

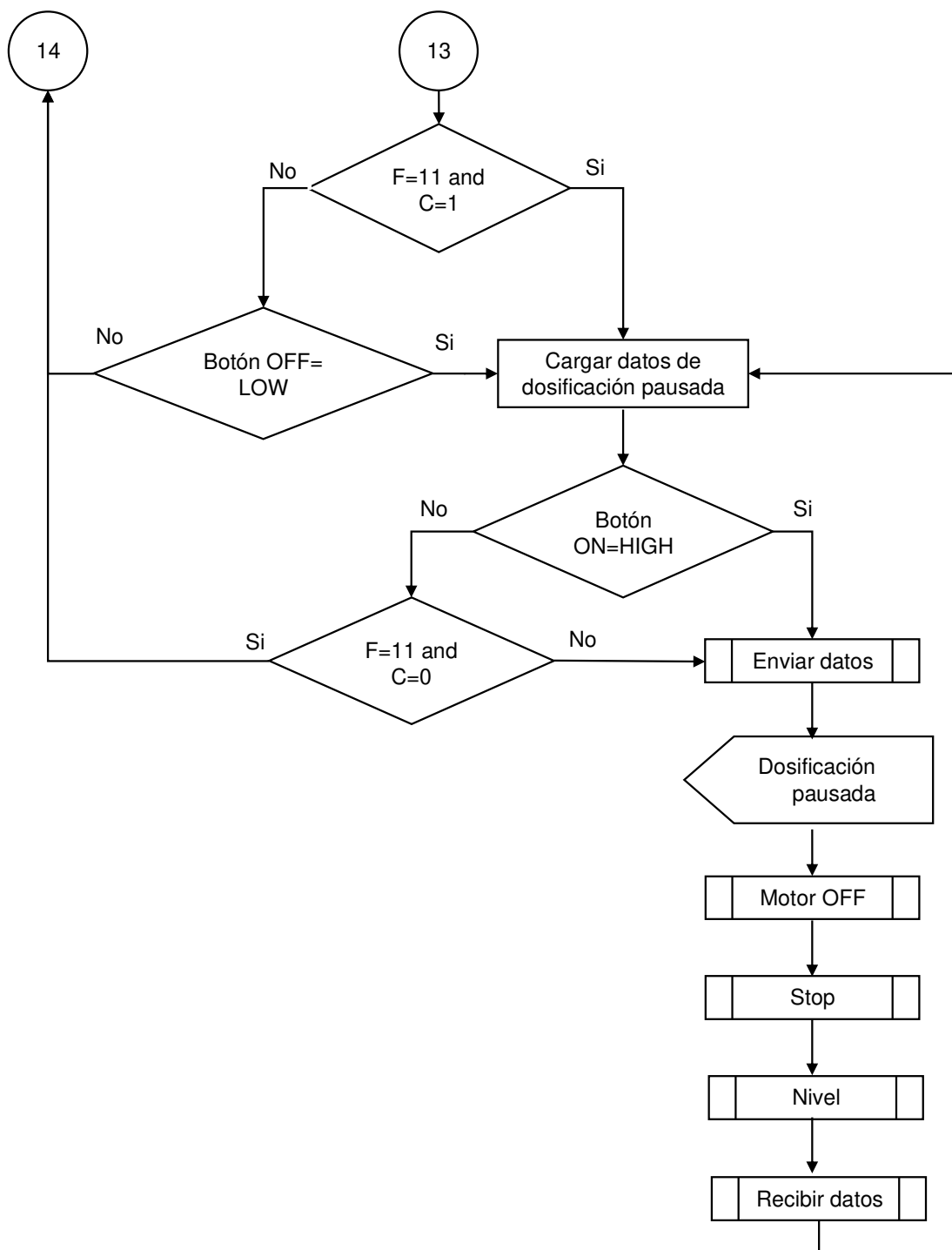
El menú 3 tiene la opción de pausar el proceso para lo cual se lo puede hacer desde el mando local con la lectura de nivel bajo en el botón OFF o mediante la función recibida desde el HMI; al estar en modo pausa, se muestra este estado en la pantalla LCD y se envía esta información al mando remoto, al igual que se detiene el motor mediante la función motor OFF. Para quitar la pausa se puede realizar mediante el contenido correcto de la función asignada para este proceso o mediante la lectura de nivel bajo en el botón ON, permitiendo el retorno al lazo while hasta cumplir el peso consignado. Este proceso se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 2.60.

En el caso que se cumpla el peso consignado a dosificar pero no el número de dosificaciones consignadas, se pasa al menú 4, en el cual se muestra el número de ciclo acabado.

El diagrama de flujo de la Figura 2.61 muestra el proceso que abarca el menú 4, en donde primero se envía los datos del ciclo finalizado y del menú en el que se encuentra, se detiene el motor mediante el llamado a la función motor OFF. En este menú existen dos opciones para avanzar, una que permite continuar con la siguiente dosificación y otro que permite cancelar el resto del proceso y dar por terminado.

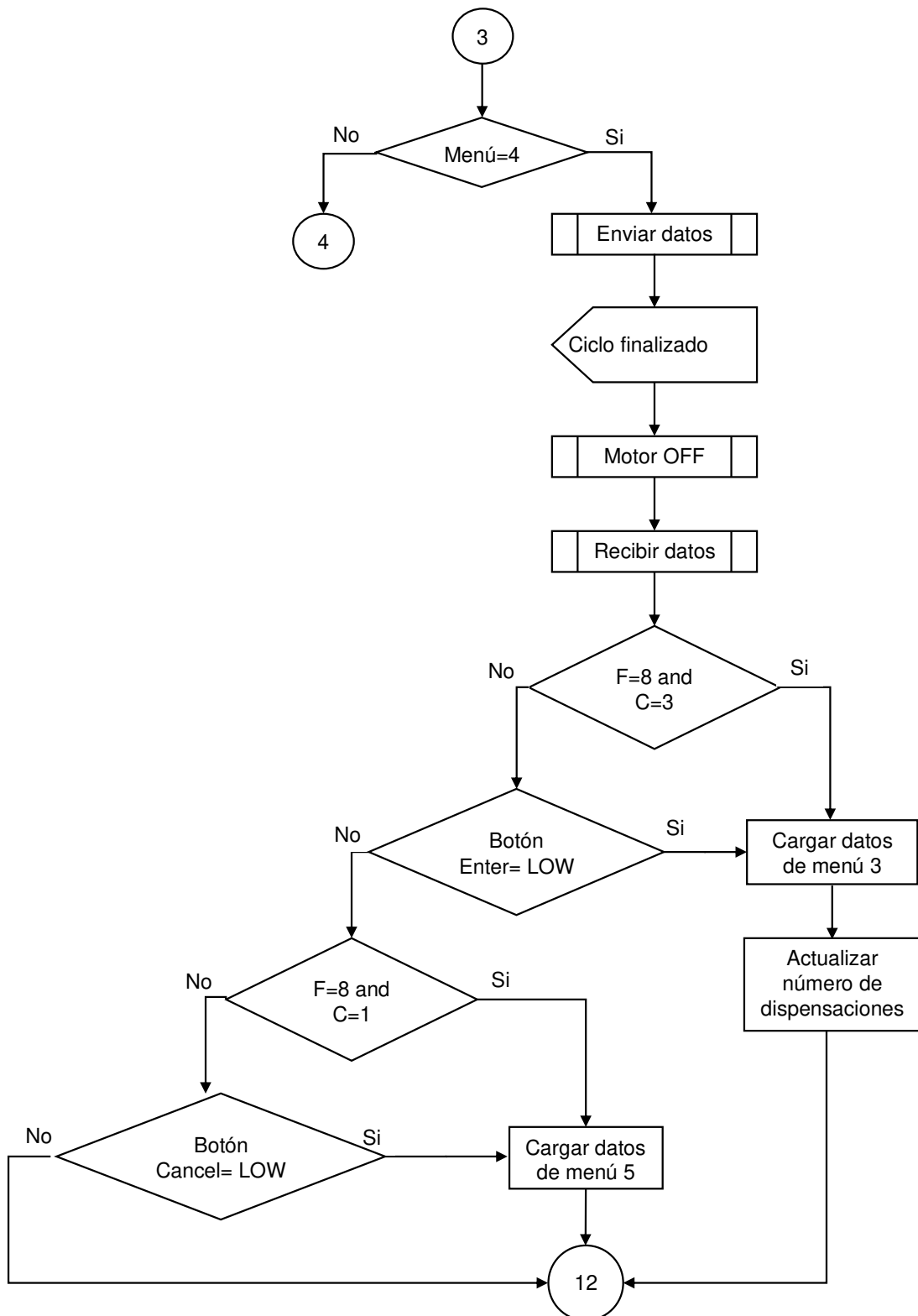
Mediante el mando local, a través de la lectura de nivel bajo en el botón Enter permite continuar con la siguiente dosificación o al ser la lectura de nivel bajo en el botón Cancelar se da por cancelado el resto del proceso. Mientras que para el mando remoto se efectúa la lectura de la función y del contenido recibido mediante el llamado de la función recibir datos.

En el caso de seguir con la siguiente dosificación se carga los datos y la configuración para ingresar al menú 3, mientras que en el caso de que el proceso sea cancelado, se carga y se configura los datos para acceder al menú 5.



**Figura 2.60.** Diagrama de flujo de Menú (Parte 5)

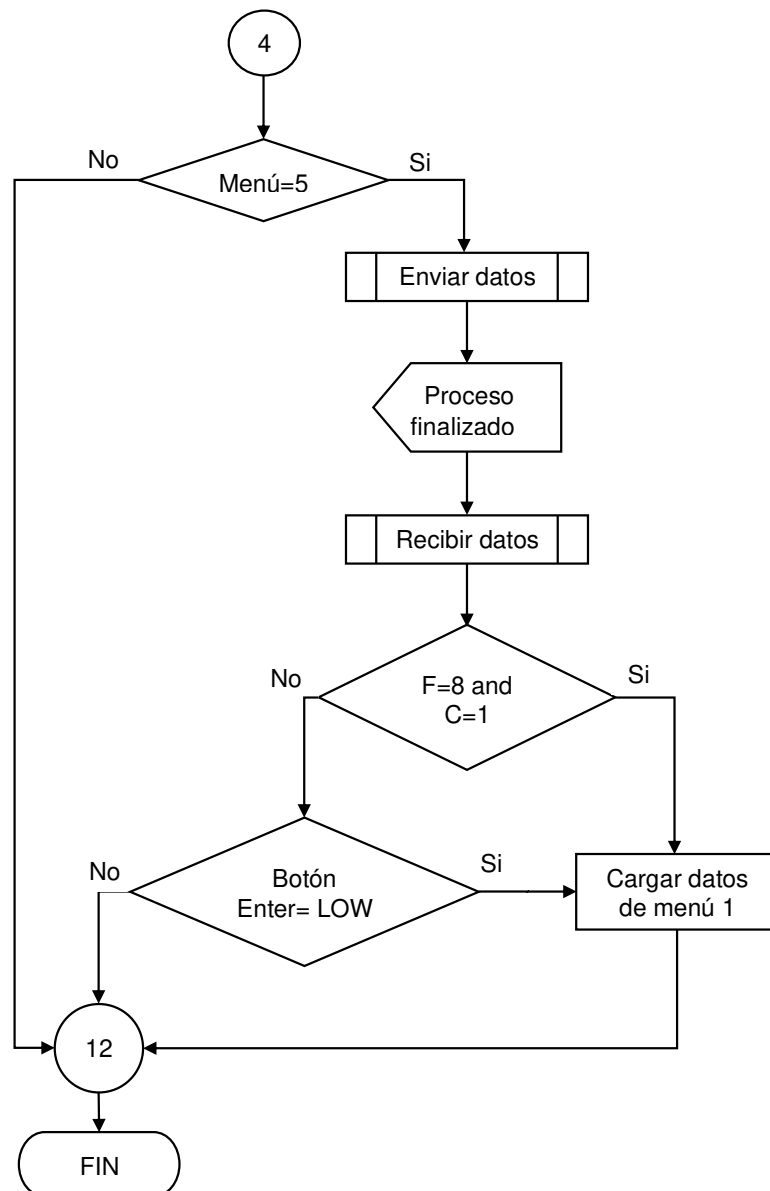
El menú 5 representa la pantalla final, donde se muestra que el proceso ha finalizado, como indica la Figura 3.28.



**Figura 2.61.** Diagrama de flujo de Menú (Parte 6)

La Figura 2.62 indica el diagrama de flujo del menú 5, donde se puede apreciar que en caso de que no sea el menú 5 se procede a finalizar la función. Una vez dentro de este

menú se envía los datos con el contenido que abarca el menú 5, los cuales también son mostrados en el LCD. Para poder salir de esta pantalla y de este menú para volver a condiciones iniciales del dosificador, es mediante la lectura de un valor bajo en el botón Enter o mediante la recepción del contenido correspondiente de la función específica para este menú mediante el llamado a la función recibir datos. Una vez obtenido cualquiera de estas dos opciones o al haber ingresado en cualquier otro número de menú y finalizado el submenú se da por finalizado el llamado a esta función.



**Figura 2.62.** Diagrama de flujo de Menú (Parte 7)

### 2.4.2.8 Actuador

El actuador del dosificador posee dos funciones que son motor ON y motor OFF, las cuales se encargan de encender y apagar el motor, respectivamente. El diagrama de flujo de la función de motor ON se muestra en la Figura 2.63, que abarca el algoritmo que involucra el encendido del motor.

El actuador es controlado por una señal PWM, el valor a escribir en los pines de salida depende del peso en el que se encuentra la dosificación. Si la diferencia entre el peso dosificado y el peso consignado es menor a 0.1 kg se obtiene Ecuación 2.20 mediante la forma recta que pasa por dos puntos, que es un acondicionamiento tipo rampa inversa en función del peso dosificador. Una vez simplificado y reducido términos se obtienen el resultado final que es el mostrado en la Ecuación 2.21. La velocidad se expresa en [%] y el peso actual y consignado en [kg]. Se tiene en cuenta que la velocidad mínima en porcentaje para que el motor empieza a girar es del 20%.

$$Vel - 20 = \frac{20-100}{Peso\ Seteado-(Peso\ Seteado-0.1)} * (Peso\ Actual - Peso\ Seteado) \quad (2.20)$$

$$Vel = 800 * (Peso\ Seteado - Peso\ Actual) + 20 \quad (2.21)$$

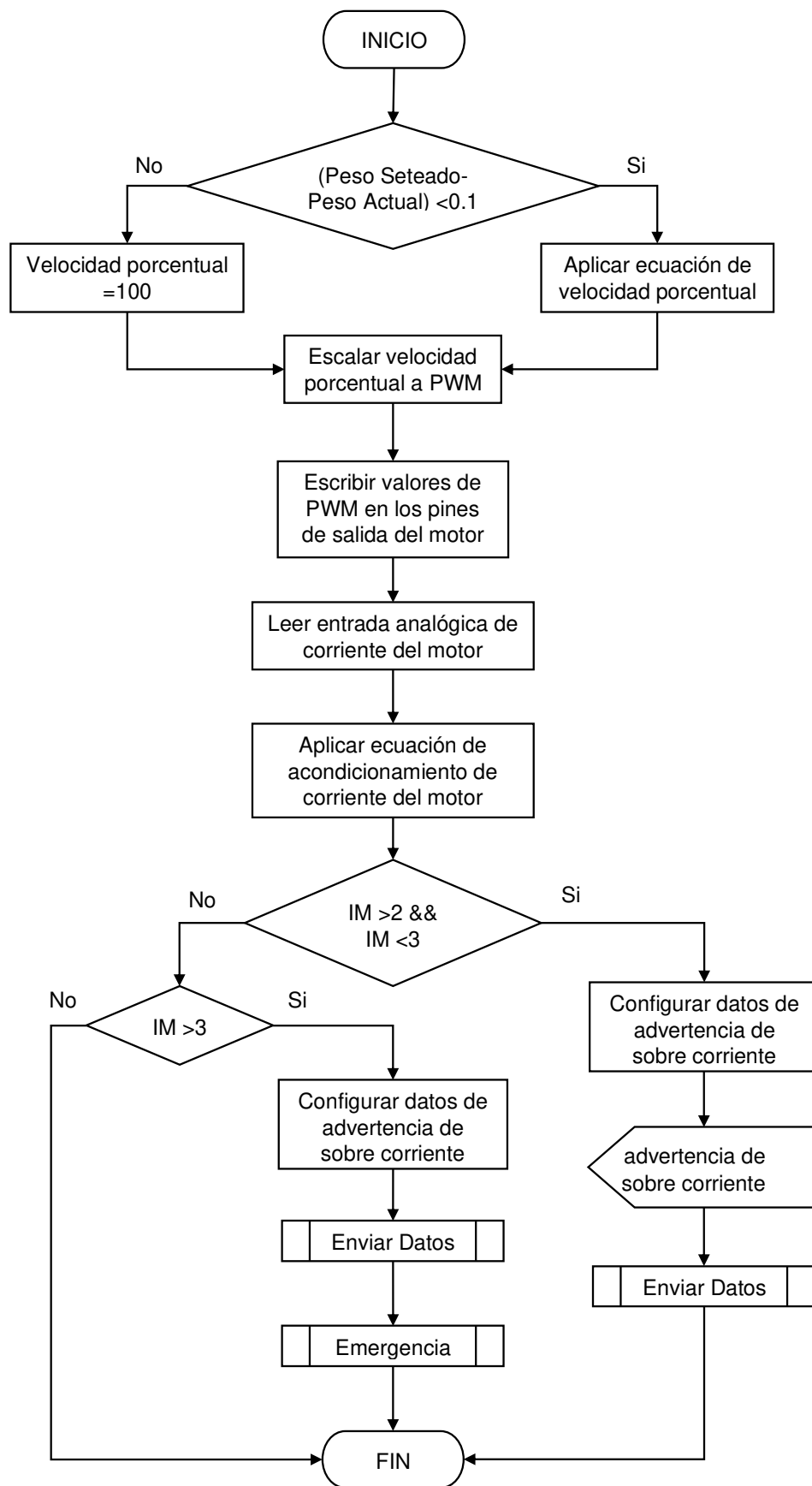
En el caso que peso actual no se encuentre dentro de la condición anterior, el porcentaje de la velocidad aplicado al PWM es del 100%.

Una vez obtenido el valor del porcentaje de la velocidad se realiza el escalado al valor del PWM, es decir va a pasar de un valor comprendido entre 0% y 100% a 0 y 255 que es la máxima resolución posible de la señal PWM. Para lo cual se utiliza la función map, que posee la siguiente sintaxis [41]:

Map (Valor, Mínimo a escalar, Máximo a escalar, Mínimo escalado, Máximo escalado)

Donde:

- Valor=Velocidad porcentual
- Mínimo a escalar: 0
- Máximo a escalar: 100
- Mínimo escalado: 0
- Máximo escalado: 255



**Figura 2.63.** Diagrama de flujo de motor ON



Cuando se ha enviado el valor de escritura de los pines PWM se enciende la luz indicadora de color verde. Se obtiene el valor de la lectura de corriente del motor mediante el acondicionamiento entre el voltaje generado y la resolución expresada según el fabricante del sensor de corriente.

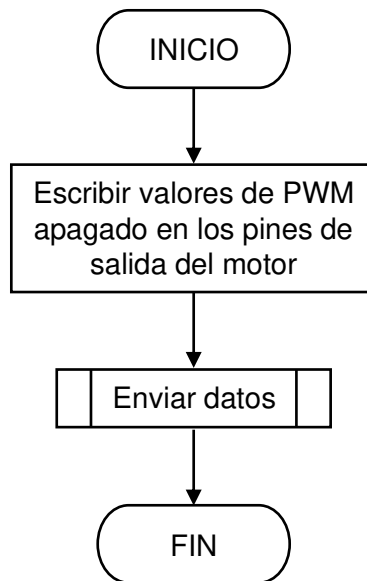
Debido a que la resolución del sensor de corriente es de 500 mV/A y la lectura analógica está comprendida entre 0 y 1023 bits, la Ecuación 2.22 indica el acondicionamiento de la señal.

$$Corriente = \frac{10 * Voltaje de sensor}{1023} \quad (2.22)$$

Se toma en cuenta los valores dados por el fabricante en donde la corriente nominal de funcionamiento del motor es de 2.5 A, mientras que la corriente pico soportada durante el arranque es de 5.5 A; además se tiene como dato que la corriente máxima generada por el motor en el funcionamiento del dosificador es de máximo 1.8 A en trabajo nominal y de máximo 2.6 A en el arranque, entonces se genera advertencia de sobre corriente nominal para valores comprendidos entre 2 y 3 amperios; mientras que para emergencia de sobre corriente se activara para valores mayores a 3 A.

En el caso de la advertencia se muestra en la pantalla LCD el indicador 'I' en la parte inferior derecha, se encenderá la luz indicadora de color amarilla y se envía los datos correspondientes a la advertencia generada. En el caso de la emergencia, se envía los respectivos datos y se llama a la función emergencia. Caso contrario, es decir donde la corriente sea menor que 2 A, no se realiza ninguna de estas acciones y se da por finalizado la función.

Cuando se requiera que el actuador se detenga o se apague se utiliza el llamado a la función motor OFF, su diagrama de flujo se muestra en la Figura 2.64. Donde se coloca un valor de cero en las salidas PWM, se apaga la luz indicadora de color verde y se envía los datos de que el actuador se encuentra apagado.



**Figura 2.64.** Diagrama de flujo de motor OFF

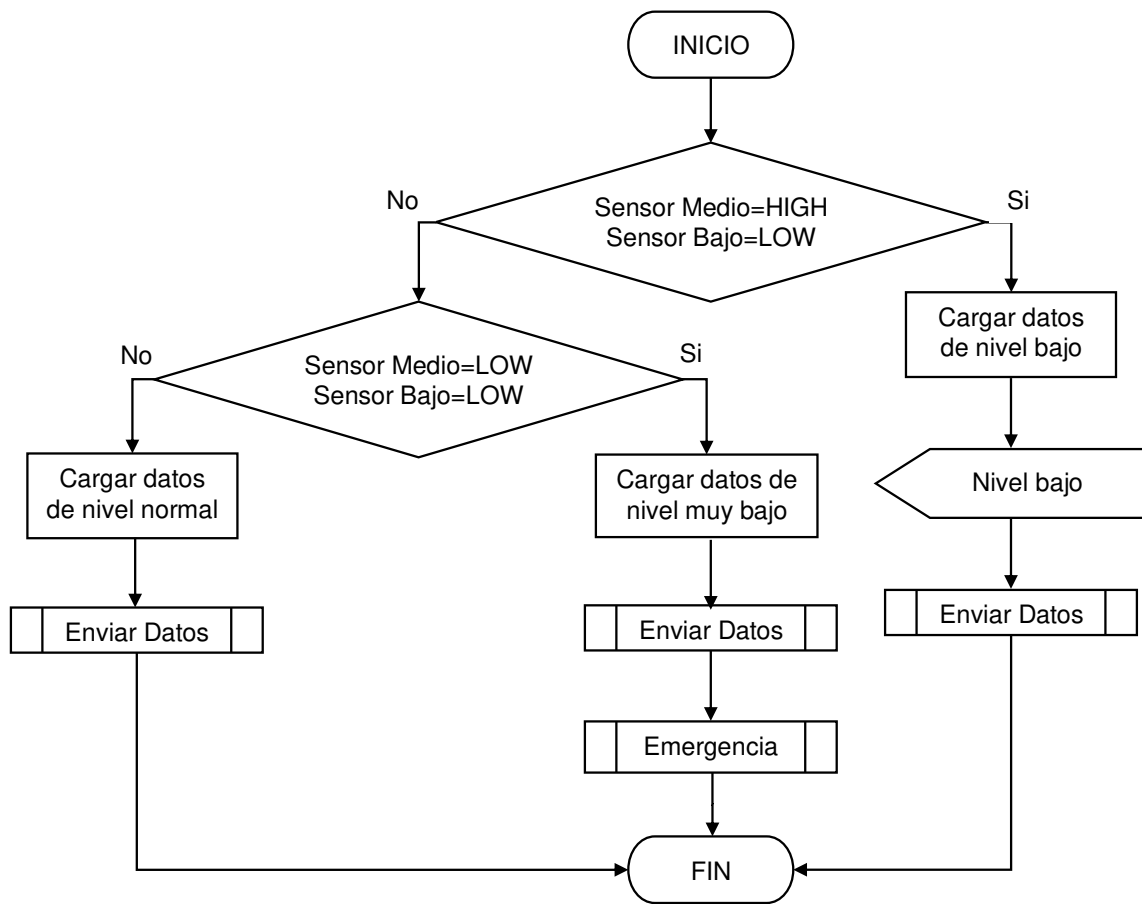
#### 2.4.2.9 Nivel

La función nivel se activa en modo de advertencia y de emergencia. Para la advertencia se requiere que el nivel sea bajo, es decir que el sensor de nivel medio deje de detectar el grano y genere un nivel de voltaje bajo en su salida y a la vez el sensor de nivel bajo detecte el grano y genere un voltaje alto en su salida; en este caso se enciende la luz indicadora de color amarillo, se muestra en la pantalla LCD el carácter 'N' y se envía los datos correspondiente a la advertencia activada por nivel.

Para la emergencia activada por nivel se requiere que los dos sensores de nivel, tanto el de nivel medio como el de bajo, no detenten el grano y generen voltajes bajo en su salida, entonces se procede a enviar los datos correspondientes y a llamar a la función emergencia.

En el caso de que los dos sensores de nivel detecten grano, generan salida de voltaje en alto y no entra en ninguno de estos casos o ya sea que ingreso a advertencia o emergencia por nivel, se da por terminado el llamado a la función

El diagrama de flujo de la función nivel se puede apreciar en la Figura 2.65.



**Figura 2.65.** Diagrama de flujo de nivel

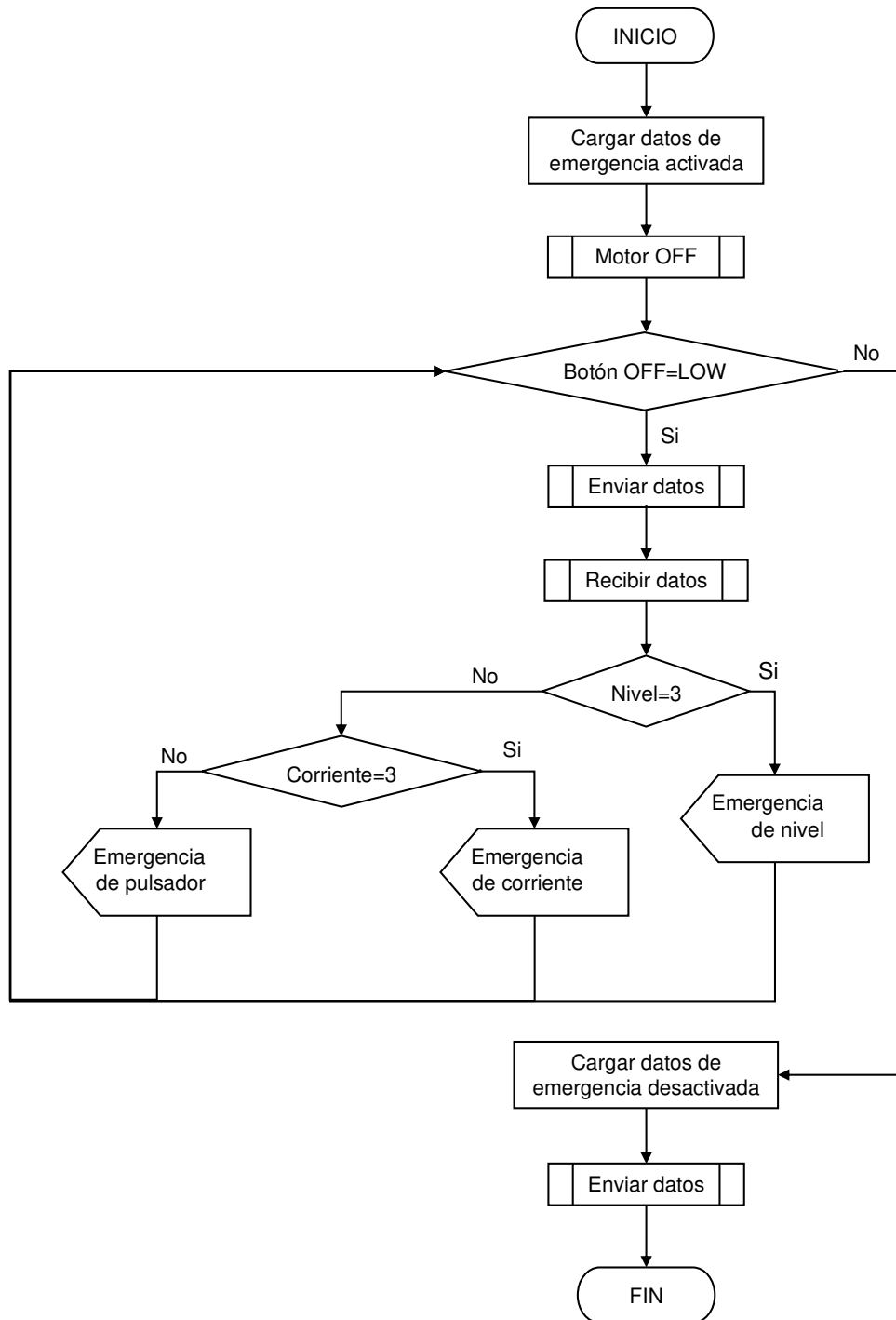
#### 2.4.2.10 Emergencia

La función emergencia puede ser activada en cualquier instante de funcionamiento del prototipo dosificador. Posee tres razones para ser activado. Al instante de ser llamada, esta función detiene el funcionamiento del actuador mediante la función motor OFF y enciende la luz indicadora de color rojo, además, se envía los datos para indicar que la emergencia ha sido activada. Para desactivar la emergencia se debe corregir el problema por el cual se activó la emergencia y posteriormente generar voltaje bajo en la entrada del pulsador OFF mediante su activación, para apagar la luz indicadora de color rojo y volver a condiciones normales de funcionamiento.

Está conformada por un lazo while, en el cual se identifica la razón de la activación de la emergencia que puede ser por activación del pulsador de Emergencia tanto en el mando local como en el mando remoto, para lo cual se debe llamar a la función recibir datos para verificar si la función y el contenido recibido permiten su activación. La segunda forma de generar emergencia es por nivel muy bajo del grano en la tolva, mientras que la tercera

posibilidad es por sobre corriente en el motor. En cualquiera que sea el caso de los mencionados anteriormente, se mostrara la información tanto en la pantalla LCD como en el HMI.

La Figura 2.66 muestra el diagrama de flujo de la función emergencia con todos los posibles casos de activación.

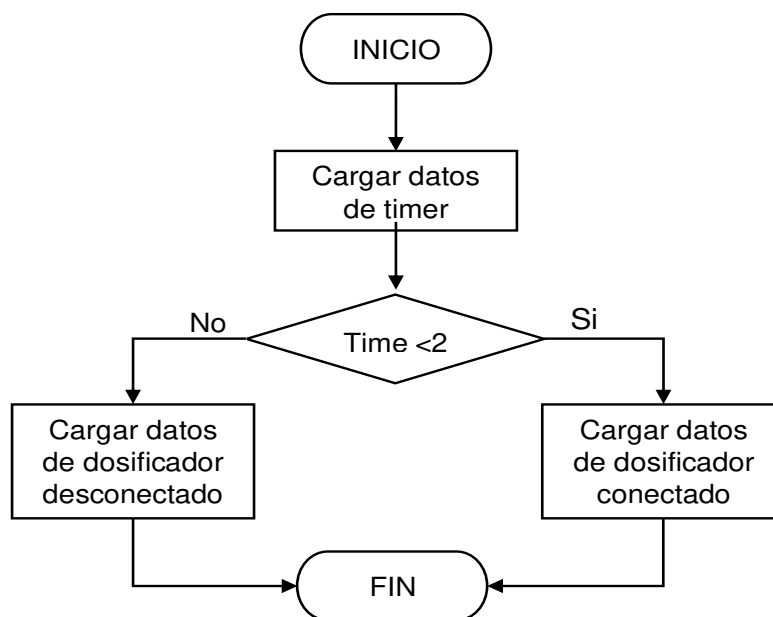


**Figura 2.66.** Diagrama de flujo de Emergencia

### 2.4.2.11 Comunicación

La comunicación entre el HMI y cada uno de los dosificadores se puede verificar con la luz indicadora de color azul ubicada tanto en el mando local como en el mando remoto. El estado de encendido y de apagado de esta luz equivale a la presencia o ausencia de conexión existente, respectivamente. Este control está realizado por el llamado a la función temporización que está controlada por el timer one consignado a un segundo, como se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 2.67.

Cuando existe comunicación entre la computadora y el prototipo se está en constante envío y recepción de datos para mantener actualizado el sistema en tiempo real, por lo tanto cada vez que se detecte recepción de datos se encera la variable local del timer haciendo referencia a que existe comunicación activa, caso contrario es cuando no exista recepción de datos mediante el puerto serial en un máximo de dos segundos, el timer generará el estado de no conexión con el computador.



**Figura 2.67.** Diagrama de flujo de Comunicación

### 2.4.3 HMI

La interfaz hombre maquina es desarrollada en el software Visual Studio, tanto en la parte de diseño de las pantallas, como en su respectiva programación para el correcto funcionamiento en conjunto con el prototipo dosificador.

En el HMI se aplica la misma trama que se detalla en la parte del software del dosificador. El software Visual Studio en su opción de Windows Form, trabaja en función de eventos, es decir no existe un lazo repetitivo que está en constante barrido; cada evento es llamado según la condición que este programado para su uso, como puede ser recibir un dato, pulsar un botón, entre otros.

Al igual que en Arduino; Visual Studio posee una parte de inicialización y declaración de variables que barre una sola vez, aquí se coloca las variables y constantes que se utilizaran en más de un evento, como son los valores de peso, ciclos, menú, entre otras.

### 2.4.3.1 Diseño de formularios

El HMI debe abarcar todas las funciones disponibles en el mando local, para lo cual se distribuyó en dos pantallas, la principal destinada al monitoreo y control en tiempo real del proceso total y otra destinada al tratamiento de las recetas [42], [43].

La pantalla principal es la mostrada en la Figura 2.68, en donde se puede apreciar secciones definidas según sea el uso, en donde:

1. Botones de conexión individual de los dosificadores
2. Botones principales de encendido, apagado y emergencia
3. Consigna de ciclos y peso a dosificar
4. Valores finales para dosificar.
5. Sección de proceso
6. Sección de dosificadores

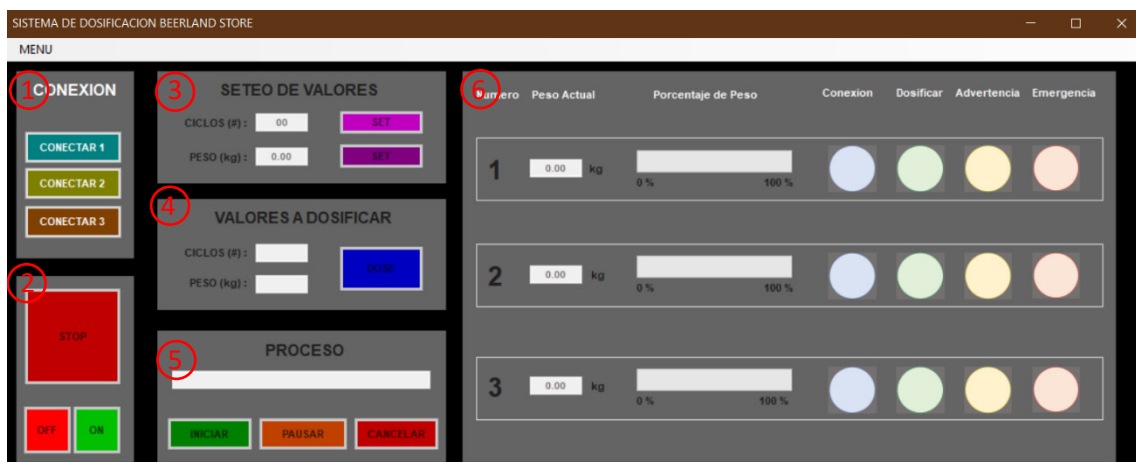


Figura 2.68. Formulario de pantalla principal

La sección uno permite conectar los dosificadores de manera individual a la computadora mediante el puerto USB. La sección dos está conformada por los botones de encendido y apagado como lo es los botones ON OFF en el mando local, al igual que el botón de Emergencia que es el equivalente al pulsador tipo hongo en el mando local. La sección tres permite escribir los valores que se desee consignar en el número de ciclos y en el peso mediante los botones ubicados a un costado de cada caja de texto. La sección cuatro abarca la visualización de los valores consignados, sea desde el mando local como desde al mando remoto, con opción a avanzar en el proceso al dar clic en el botón Dosificar que permite el paso a la sección cinco donde se muestra el estado actual del proceso de dosificación con diferentes botones que permiten iniciar, continuar, pausar y cancelar el proceso según en la etapa en la que se encuentre. La última sección es la seis, en la cual se encuentra la visualización de los prototipos en donde se tiene para cada dosificador el número de identificación propio, el indicador de peso que está dosificando en tiempo real en la caja de texto como en porcentaje en la barra de progreso, finalmente se encuentran las luces indicadoras al igual que están en el mando local, es decir indican Conexión, Dosificación, Advertencia y Emergencia, respectivamente.

La pantalla de manipulación de recetas es la mostrada en la Figura 2.69 en donde las secciones representan:

1. Manipulación de valores de las recetas
2. Visualización de recetas almacenadas
3. Botones de manipulación de recetas



**Figura 2.69.** Formulario de pantalla de recetas

La sección uno contiene las cajas de texto donde se escribirá los valores de la cantidad de cada uno de los ingredientes, además del nombre de la receta. La sección dos es una tabla configurada de manera automática para que se muestre únicamente el número de filas ocupadas con recetas ingresadas. La sección tres es de los botones que permiten el manejo y la manipulación de las recetas como son ingresar, borrar, editar, limpiar y cargar receta.

### 2.4.3.2 Apertura y cierre

Al momento de iniciar la pantalla principal se genera acciones específicas como son desactivación de la habilitación de cada una de las secciones que no involucran conexión, debido a que no se puede manipular las demás secciones mientras los prototipos no estén conectados y cargados con su respectivo programa.

De manera similar sucede cuando se cierra el programa, en este caso antes de cerrar la pantalla principal se desconecta y se cierran los puertos seriales abiertos con el fin de que queden disponibles para otros programas que requieran su uso. El diagrama de flujo de la Figura 2.70 muestra las acciones realizadas al momento de cerrar el formulario principal.

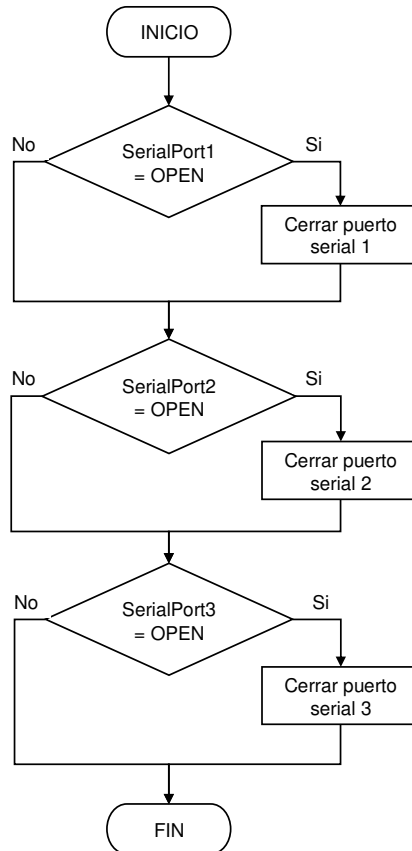
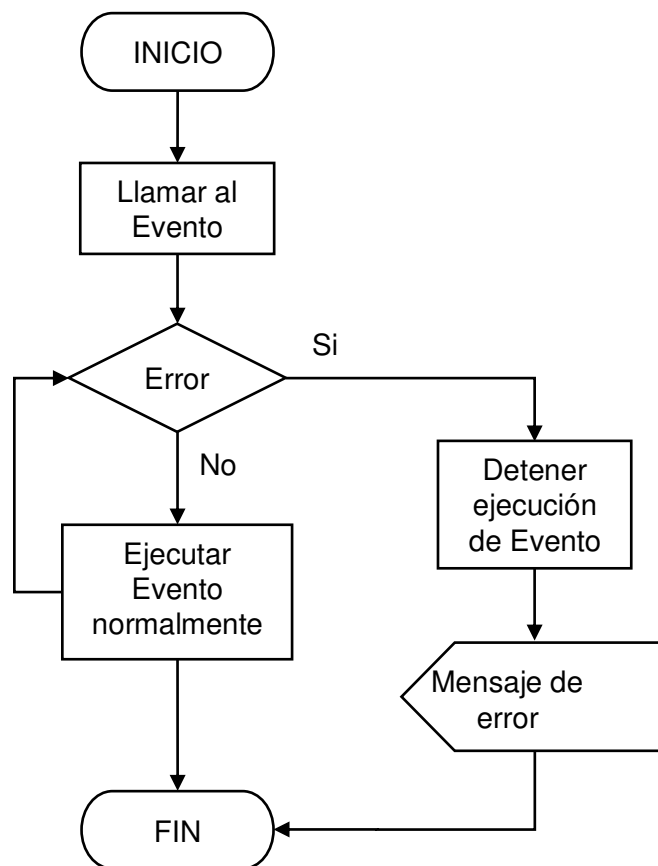


Figura 2.70. Diagrama de flujo Cerrar puertos Seriales



Se debe tomar en cuenta que para evitar problemas en el desarrollo de la ejecución del HMI, visual studio permite generar un lazo de verificación del correcto funcionamiento de las operaciones programadas mediante un Try – Catch, en el cual en la parte de Try se coloca todo el contenido de la programación, mientras en que la parte del Catch se coloca un mensaje de error que se mostrara en una ventana extra de error, además en este caso se detiene la ejecución del programa y así se evita que siga el desarrollo de este, arrastrando errores y posiblemente produciendo daños más graves más adelante. El diagrama de flujo de la Figura 2.71 muestra el algoritmo con el que trabaja el lazo Try – Catch [44].



**Figura 2.71.** Diagrama de flujo de Detección de errores

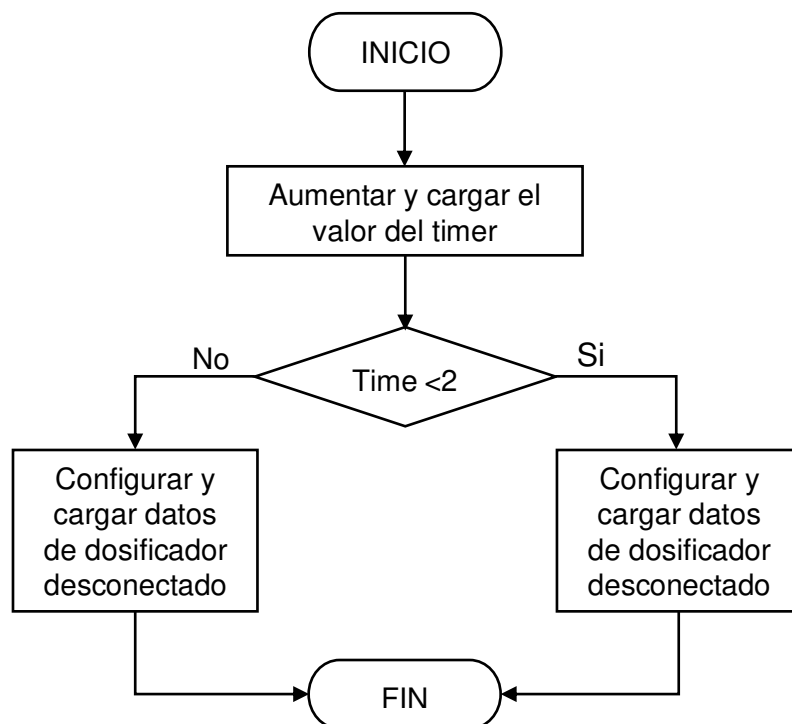
### 2.4.3.3 Comunicación

La comunicación del HMI con el prototipo dosificador se la realiza mediante la activación del botón Conectar, en cual posee un indicador numérico que identifica el prototipo que se desea conectar.

El algoritmo que permite conectar el prototipo únicamente abre el puerto serial individual del puerto USB seleccionado a una velocidad de transmisión de 9600 baudios. Una vez que esté conectado se inhabilita el botón y se habilita la sección de los pulsadores para interactuar con el prototipo.

Al igual que el mando local, la identificación de conexión y desconexión del prototipo con el HMI se manifiesta con el indicador luminoso de color azul, en estado de prendido y apagado, respectivamente.

Para hacer un control en tiempo real se utiliza el diagrama de flujo de la Figura 2.72 en donde posee un timer programado para cada segundo en donde si el valor del timer es menor a dos se considera comunicación conectada, caso contrario la comunicación esta deshabilitada. El timer es encendido cada vez que recibe un dato proveniente del mando local, debido a que existe un flujo constante de datos, una vez que no reciba mensajes será porque esta sin conexión.



**Figura 2.72.** Diagrama de flujo de Comunicación

#### 2.4.3.4 Transmisión de datos

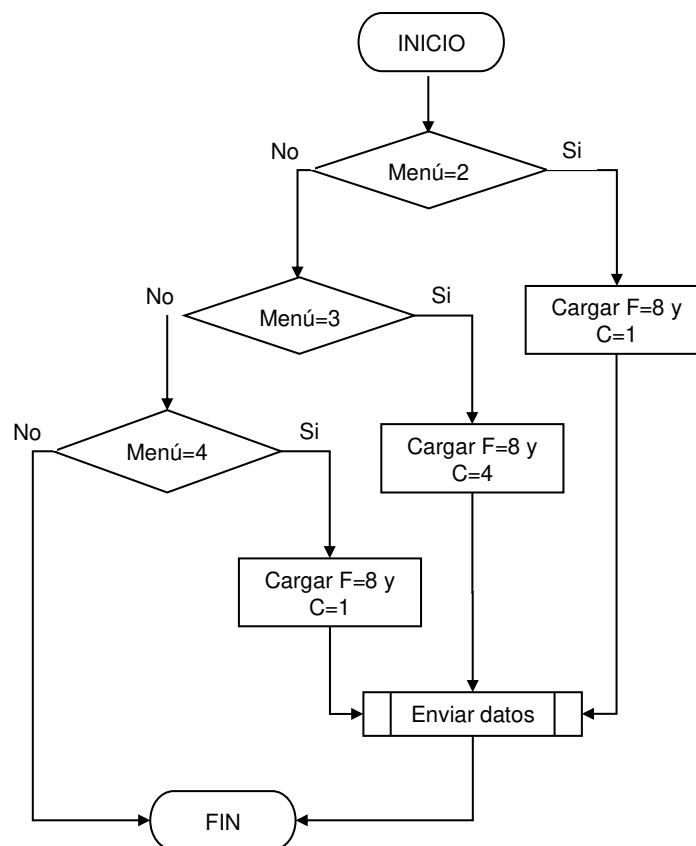
El envío de datos se genera por cada uno de los botones que manipulan acciones destinadas hacia el prototipo.

Para el caso de los botones unifuncionales que son que permite el envío de un único mensaje cada vez que son activados como son:

- Botón ON, OFF y STOP: Envían datos de encendido, apagado y emergencia hacia el mando local, respectivamente.
- Botones Setear: Permiten enviar los valores de los ciclos y del peso a dosificar
- Botón Dosificar: Permite avanzar a la dosificación del producto.

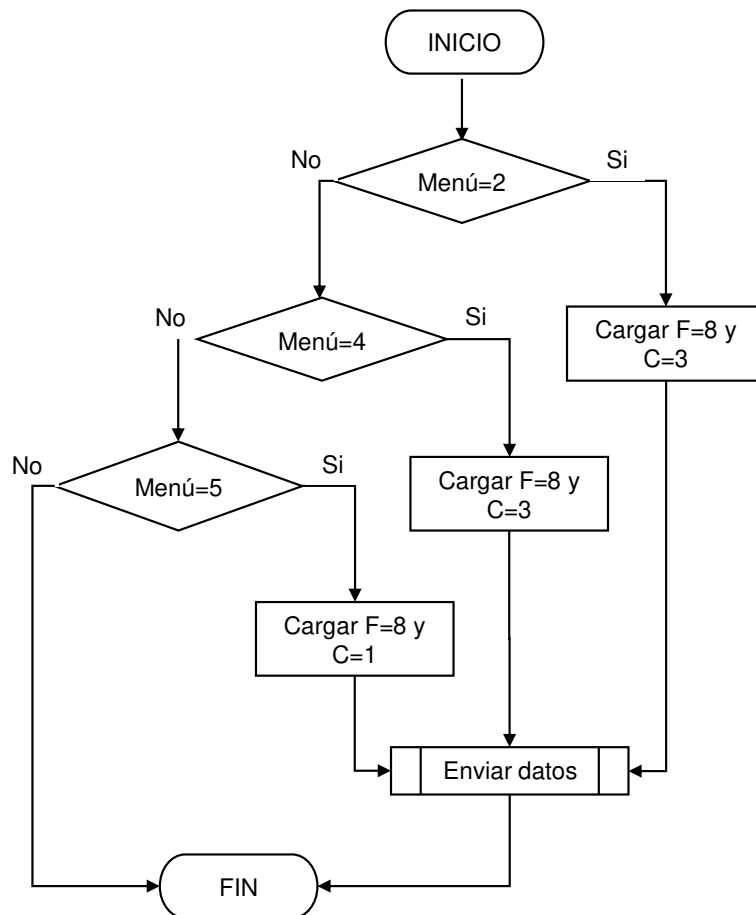
Existen otros tipo de botones que son los polifuncionales que envían un diferente tipo de mensajes según el estado y la situación en la que sean activados, como los siguientes botones:

- Botón Pausa: Posee un mando alternado generando pausa a la dosificación cuando el actuador está en funcionamiento o reanudando la dosificación cuando el proceso esta pausado.
- Botón Continuar: Permite el paso de avance o retroceso a otro menú del mando local según sea el menú en el que se ha activado, tal como muestra el diagrama de flujo de la Figura 2.73.



**Figura 2.73.** Diagrama de flujo de Botón Continuar

- Botón Cancelar: Permite el paso a otro menú del mando local según sea el menú en el que es activado, generando la cancelación del proceso total o solamente del ciclo actual de dosificación, tal como muestra el diagrama de flujo de la Figura 2.74.



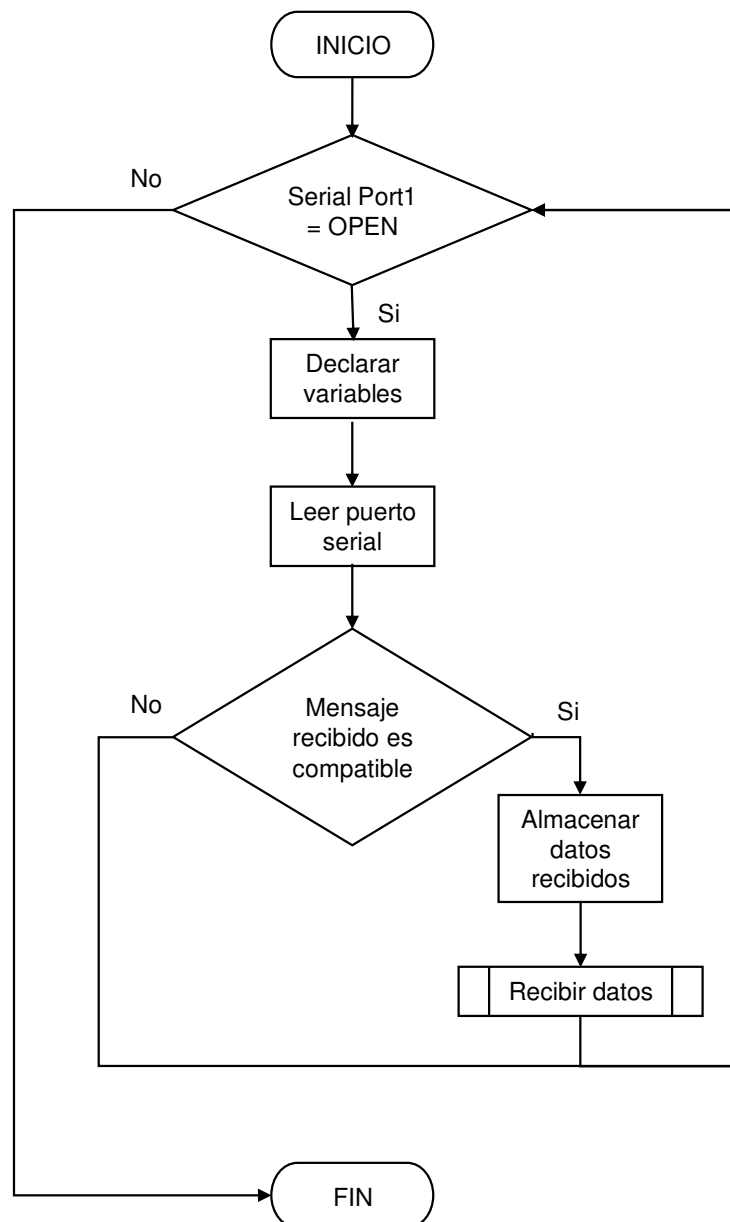
**Figura 2.74.** Diagrama de flujo de Botón Cancelar

Una vez pulsado el botón y cargado el contenido a enviar al prototipo se llama al evento enviar datos, en donde se transforma a tipo string el contenido, se aumenta la identificación inicial y final del mensaje, así como el número de prototipo dosificador al que va a ir como receptor. Se precede a escribir una línea nueva en el puerto serial de destino y finalmente se limpia el buffer de salida para que quede disponible para un nuevo envío.

### 2.4.3.5 Recepción de datos

La recepción de datos provenientes de los dosificadores se realiza mediante el puerto serial con un lazo while que actúa mientras el puerto se encuentra abierto y reciba bits; si esta condición no se cumple se da por terminado el evento; caso contrario sucede cuando posee

datos a leer y se almacena en una variable tipo string. Se realiza un análisis del mensaje, verificando los caracteres de inicio, de fin y la longitud, en el caso de no cumplir alguna de estas tres características vuelve a leer el puerto serial; caso contrario se almacena el contenido del mensaje recibido en una variable y se llama a la función recibir datos, tal como muestra el diagrama de flujo de la Figura 2.75.

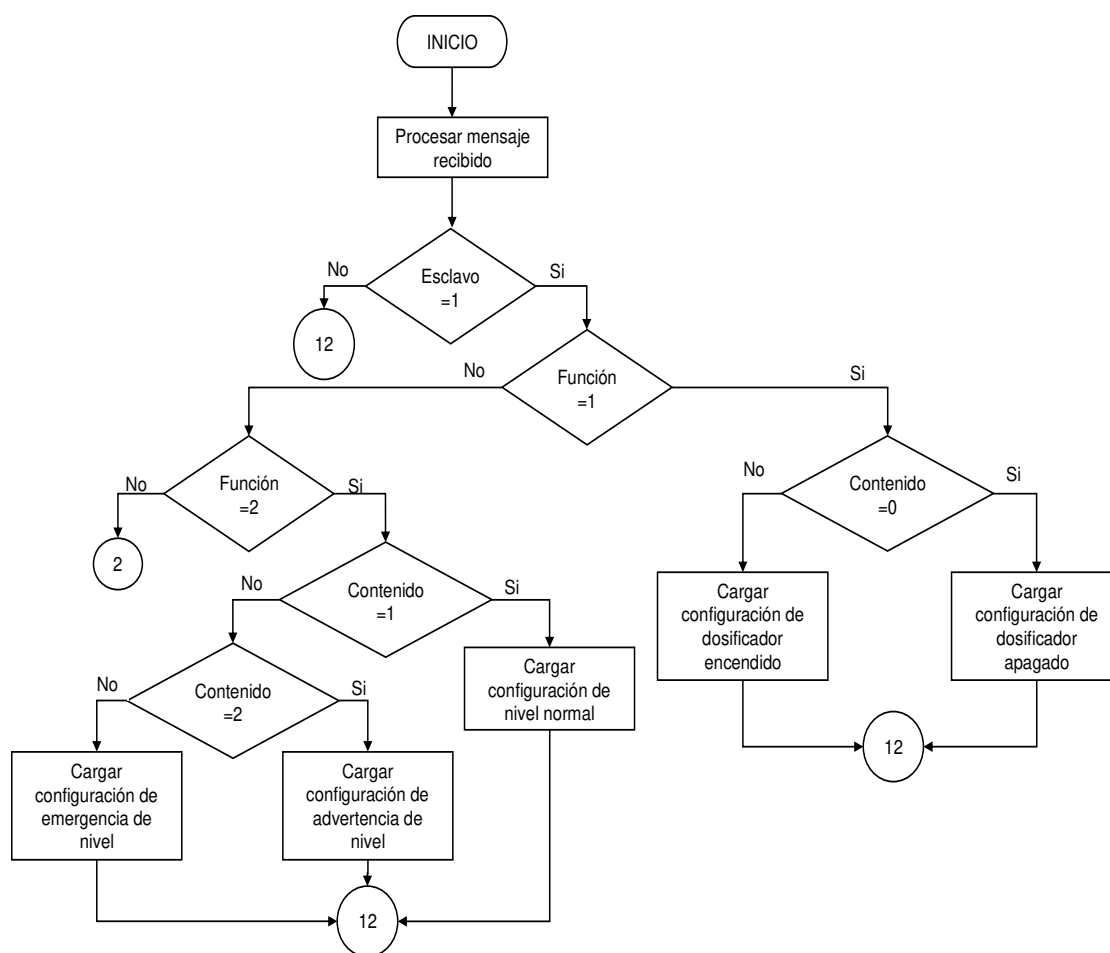


**Figura 2.75.** Diagrama de flujo de Recibir datos

Una vez que se haya comprobado que el mensaje recibido es compatible y se haya almacenado en una variable, se procede a identificar los valores de cada una de las partes que posee el mensaje, como son el número de dosificador, la función y su contenido.

Se realiza un lazo tipo switch anidado para realizar diferentes acciones según sea el número de prototipo y de función; en algunos casos se requiere otro lazo switch extra para el contenido, caso contrario se aplica directamente el contenido en alguna acción en el HMI.

La Figura 2.76 contiene el diagrama de flujo del inicio del lazo switch principal, donde se idéntica si el número del dosificador es el correcto para proceder al switch de la función, caso contrario se procede al siguiente caso y así sucesivamente hasta finalizar el lazo.



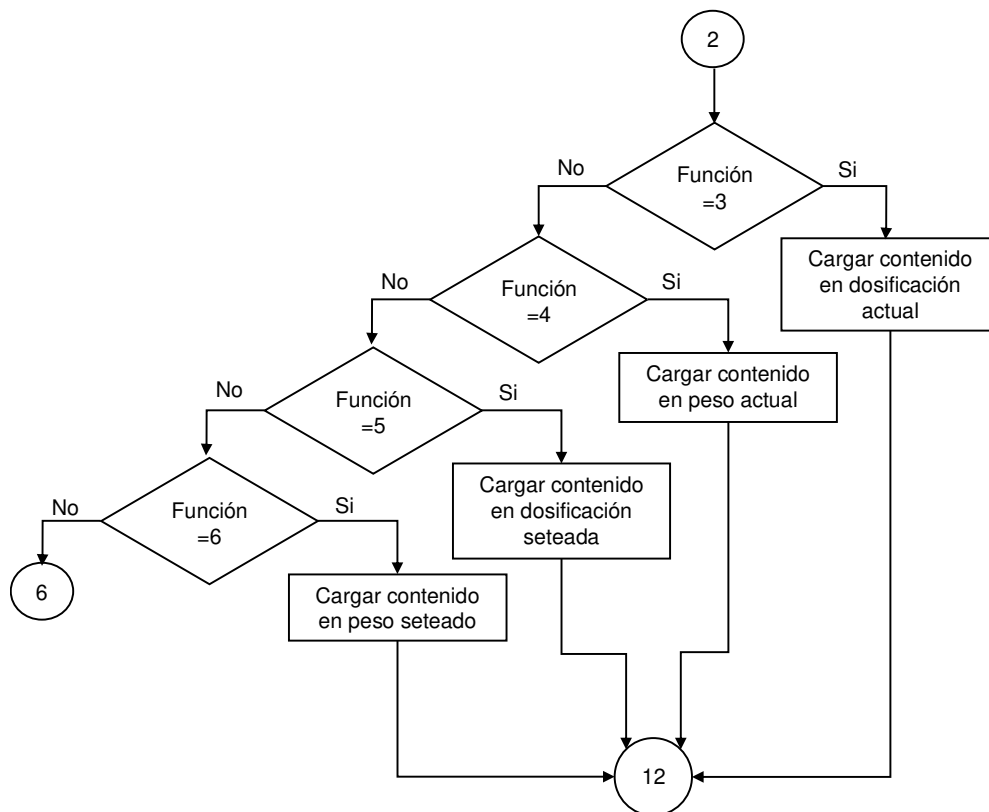
**Figura 2.76.** Diagrama de flujo de Menú (Parte 1)

Una vez ingresado en un caso del switch del número del prototipo, se procede a ingresar en el switch de la función, donde cada caso realizad una operación en específico. En el caso de la función uno, equivale al estado de encendido, por lo tanto si su contenido es cero significa que el dosificador esta apagado, caso contrario se interpreta como prototipo encendido. En el caso de la función dos, se posee internamente otro switch en función del valor del contenido porque esta función es del nivel del producto en la tolva, el cual puede tener tres estados, donde en el caso uno es cuando el nivel es normal, en el dos cuando el nivel es bajo y en el tres cuando el nivel es muy bajo, en el primer caso no se realiza nada

extra, en el caso dos se genera una advertencia, es decir se enciende la luz indicadora de color amarillo y se muestra un mensaje de advertencia en la sección de proceso del HMI, en el caso tres se genera una emergencia por lo cual se enciende la luz indicadora de color rojo, se detiene el proceso y se muestra un mensaje en la sección proceso del HMI.

La función tres indica el número de dosificación actual en el que se encuentra el proceso a través del contenido del mensaje. La función cuatro en su contenido posee el peso actual que el sensor de peso esta sensando cuando el prototipo está dosificando. La función cinco indica el valor del número de dosificaciones consignadas y se almacena en la parte del contenido. La función seis mediante su contenido representa el valor del peso consignado.

El diagrama de flujo desde la función tres hasta la función seis está repensando en la Figura 2.77.



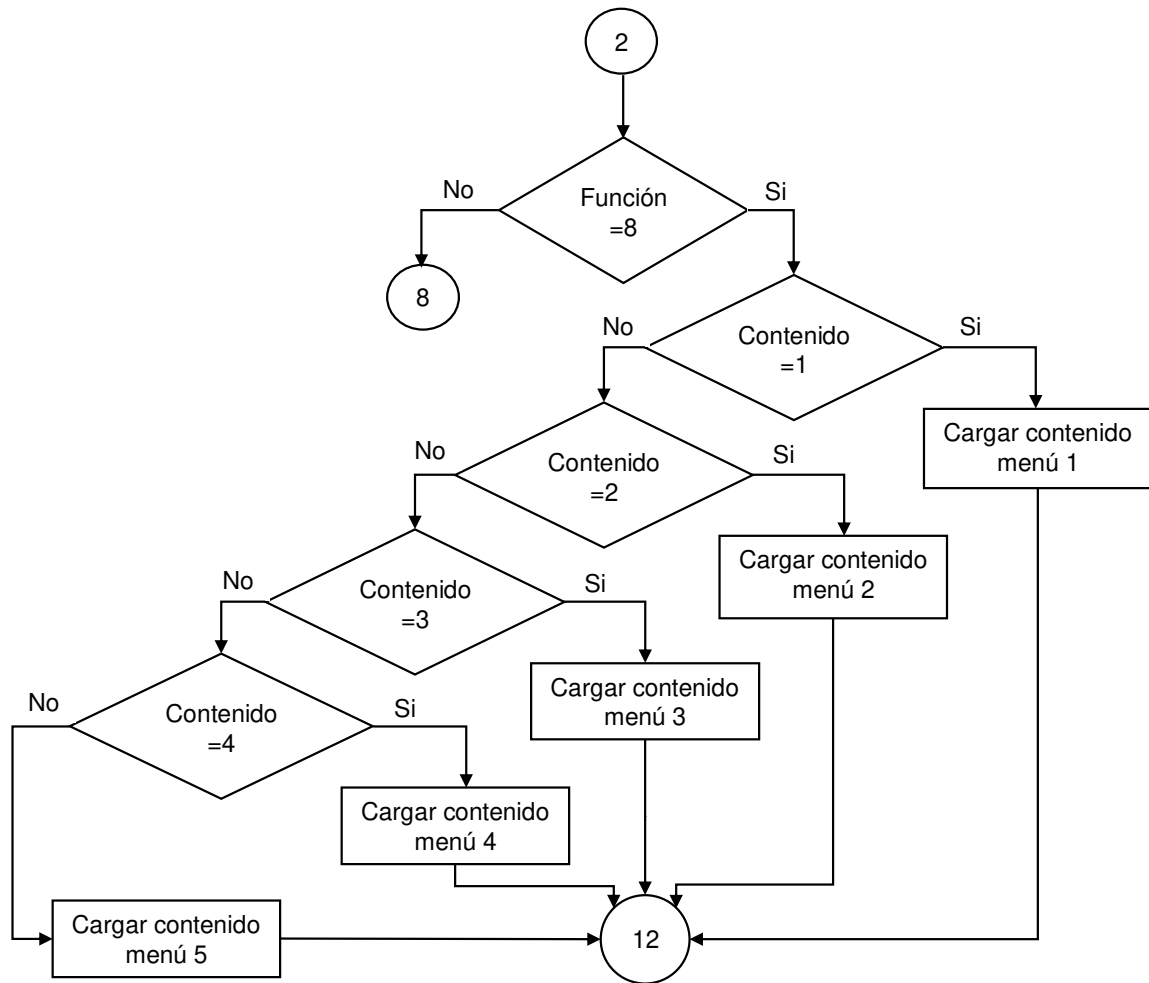
**Figura 2.77.** Diagrama de flujo de Menú (Parte 2)

El contenido de la función tres y cuatro se carga en los valores de ciclos y peso consignado, respectivamente en la sección de valores consignados del HMI. El contenido de la función cinco se carga en la caja de texto de la sección proceso del HMI. El contenido de la función

seis se muestra en la parte propia de cada dosificador identificado con su respectivo número.

La siguiente función en el lazo switch representa el menú en el cual se encuentra el dosificador, por lo cual posee un lazo switch interno extra en función de su contenido.

El diagrama de flujo de la función ocho se encuentra representado en la Figura 2.78.



**Figura 2.78.** Diagrama de flujo de Menú (Parte 3)

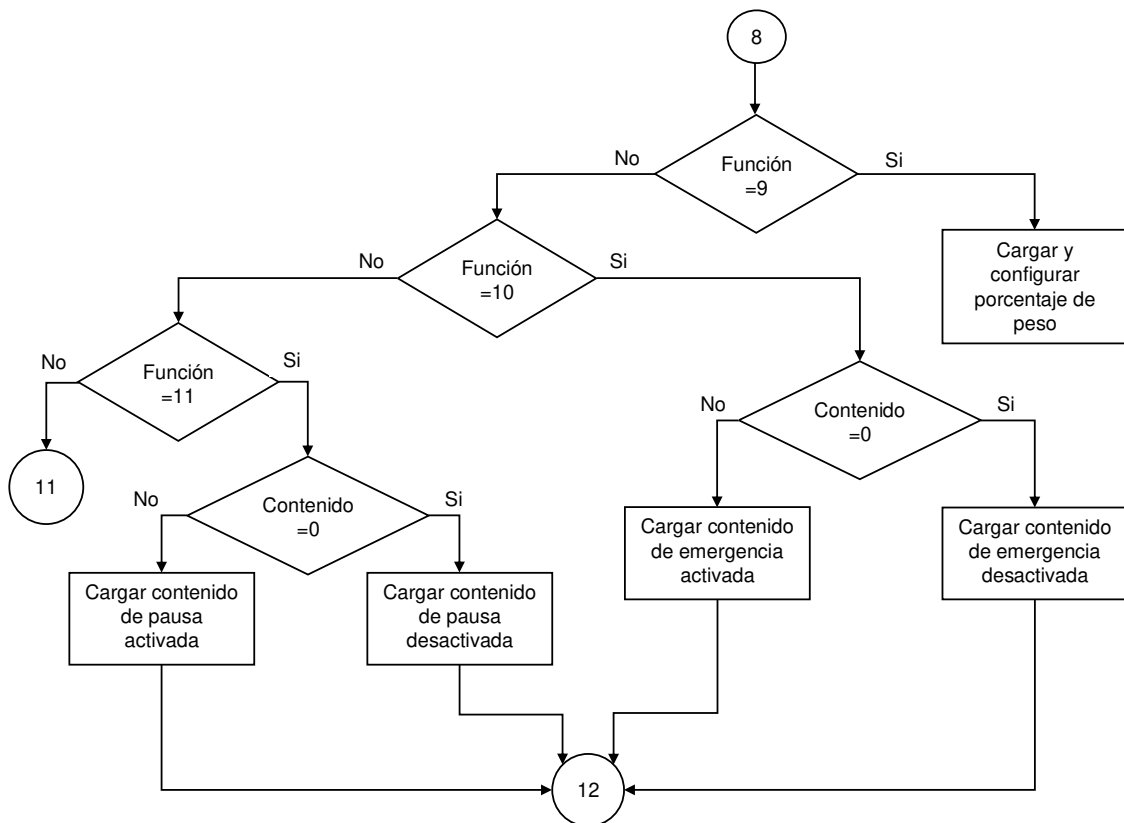
En el caso de que el contenido sea uno se habilitara la sección de consigna de valores y se inhabilitara la sección de proceso, debido a que este menú solamente permite el ingreso de valores a dosificar. Cuando el contenido es dos, se inhabilita la sección de consigna y se habilita la sección de dosificación, debido a que este menú permite confirmar los valores a dosificar o retroceder al menú anterior para cambiar los valores. En el caso del contenido tres equivale al menú tres donde se está realizando la dosificación para lo cual se inhabilita la sección de consigna y de dosificación y se habilita la sección proceso en el cual se muestra en su caja de texto el ciclo que se está realizando, con opción a pausar el proceso



mediante el respectivo botón. Para el caso del contenido cuatro equivale al menú cuatro donde significa que un ciclo se ha terminado y permite la cancelación del resto del proceso o la continuación a la siguiente dosificación, para lo cual se carga la configuración del menú tres incluyendo la inhabilitación del botón pausa y mostrando en la caja de texto el mensaje del ciclo finalizado. Finalmente, para el caso cinco que es equivalente al menú cinco del prototipo que significa que el proceso ha finalizado, se carga la configuración del menú cuatro adicionándole que la etiqueta del botón iniciar va a cambiar por finalizar y en la caja de texto se mostrara el mensaje de proceso terminado.

La función nueve posee en su contenido el porcentaje del peso que se está dosificando por lo cual, este valor se muestra en la barra de progreso propia de cada dosificador. La función diez posee dos casos que son referente a la emergencia cuando esta activada o desactivada. La función once representa en su contenido el estado de pausa en el que se encuentra el dosificador.

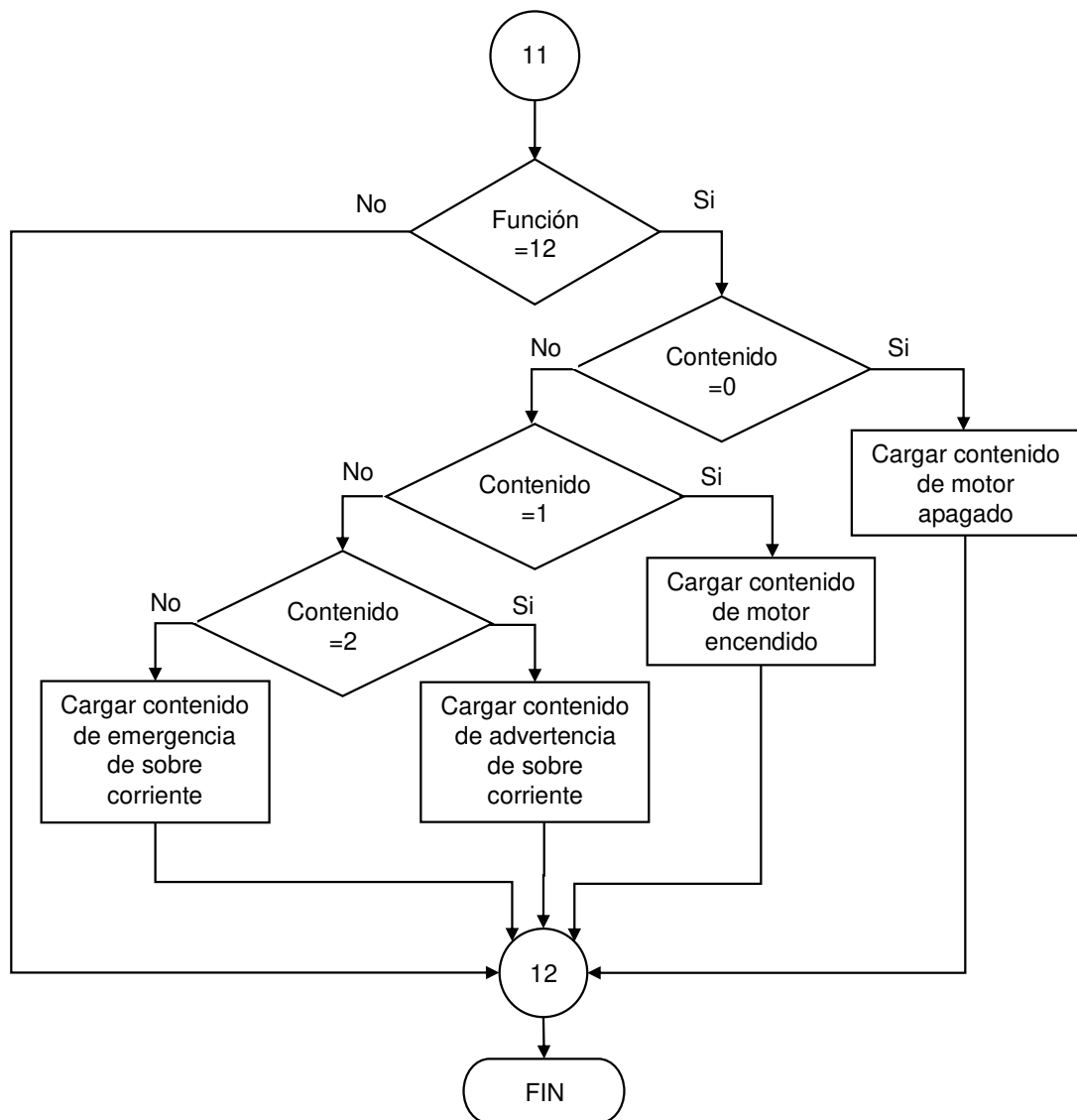
El diagrama de flujo de las funciones nueve, diez y once está representado en la Figura 2.79.



**Figura 2.79.** Diagrama de flujo de Menú (Parte 4)

La función doce equivale al estado en el que se encuentra el actuador, contiene un switch interno extra, en el cual el contenido cero indica que el motor esta apagado por lo cual la luz indicadora de color verde permanece inactiva; cuando el contenido es uno, se activa dicha luz porque representa que el motor está trabajando; en el caso que el contenido sea igual a dos genera una advertencia de sobre corriente, se enciende la luz indicadora amarilla y muestra un mensaje de advertencia en la sección proceso; finalmente si el contenido es tres se genera una emergencia por sobre corriente por lo cual se enciende la luz de color rojo y muestra un mensaje en la caja de texto de la sección proceso.

El diagrama de flujo de la Figura 2.80 indica el algoritmo de la parte final de la función recibir datos.



**Figura 2.80.** Diagrama de flujo de Menú (Parte 5)

En el caso que el dato entre a cualquier tipo de switch, sea de numero de prototipo, de función o de contenido, ejecuta las instrucciones establecidas en cada lazo y al final termina el evento menú.

#### **2.4.3.6 Recetas**

Las recetas están ubicadas en otro formulario, el cual es llamado mediante el menú de la pantalla principal. Al momento de abrir la pantalla de las recetas, este formulario se sobrepone a la pantalla principal, delegándole a este a un segundo plano.

El formulario de las recetas posee cinco botones que son:

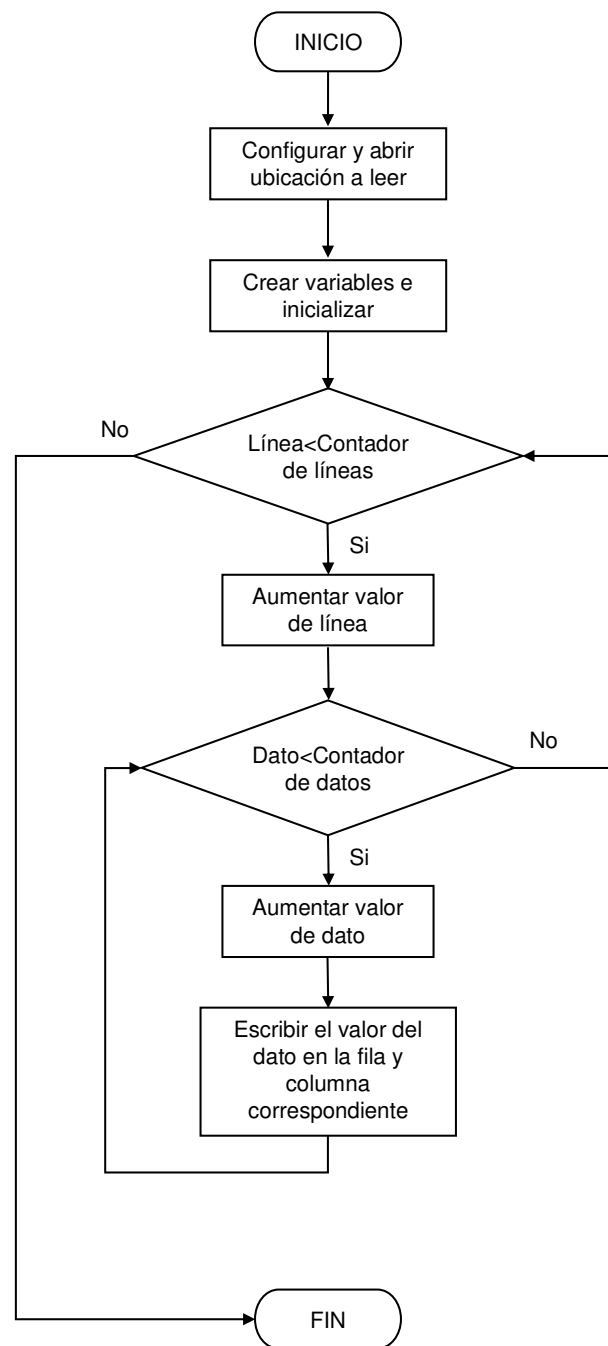
- Botón Añadir: Permite agregar los valores escritos en las cajas de texto a la tabla general como una receta nueva. Para lo cual se obtiene la cantidad de filas llenas existentes en la tabla y se agrega una más distribuyendo un dato en cada columna según el ítem que corresponda.
- Botón Eliminar: Permite eliminar una receta completa y reorganizar la tabla para no dejar filas vacías.
- Botón Modificar: Permite cambiar y guardar cualquier dato de la receta seleccionada que se ha colocado en las cajas de texto.
- Botón Limpiar: Permite vaciar y quitar el contenido cargado en las cajas de texto sin necesidad de realizar otra acción.
- Botón Cargar receta: Permite cargar los valores de los ingredientes que se encuentran en las cajas de texto hacia los valores a consignar en el formulario principal.

Cuando los botones de Añadir, Modificar y Eliminar son activados, también realizan la función del botón Limpiar, es decir dejan vacías las cajas de texto.

Para colocar los valores en las cajas de texto desde las recetas disponibles en la tabla, se debe dar clic sobre la celda de la fila correspondiente en la tabla. Esta acción llama al evento clic en la celda y mediante un algoritmo de barrido de fila, va cargando cada uno de los valores colocados en las columnas correspondientes hacia las respectivas cajas de texto.

Un requerimiento de la empresa es que el HMI permita ingresar recetas y queden almacenadas de manera constante, es decir que no se borren cada vez que el programa se cierre. Para lo cual se utiliza un archivo externo .txt para almacenar las recetas que serán cargadas a la tabla del formulario de recetas al momento de abrir esta pantalla y se guardará de manera automática al momento de cerrar dicho formulario.

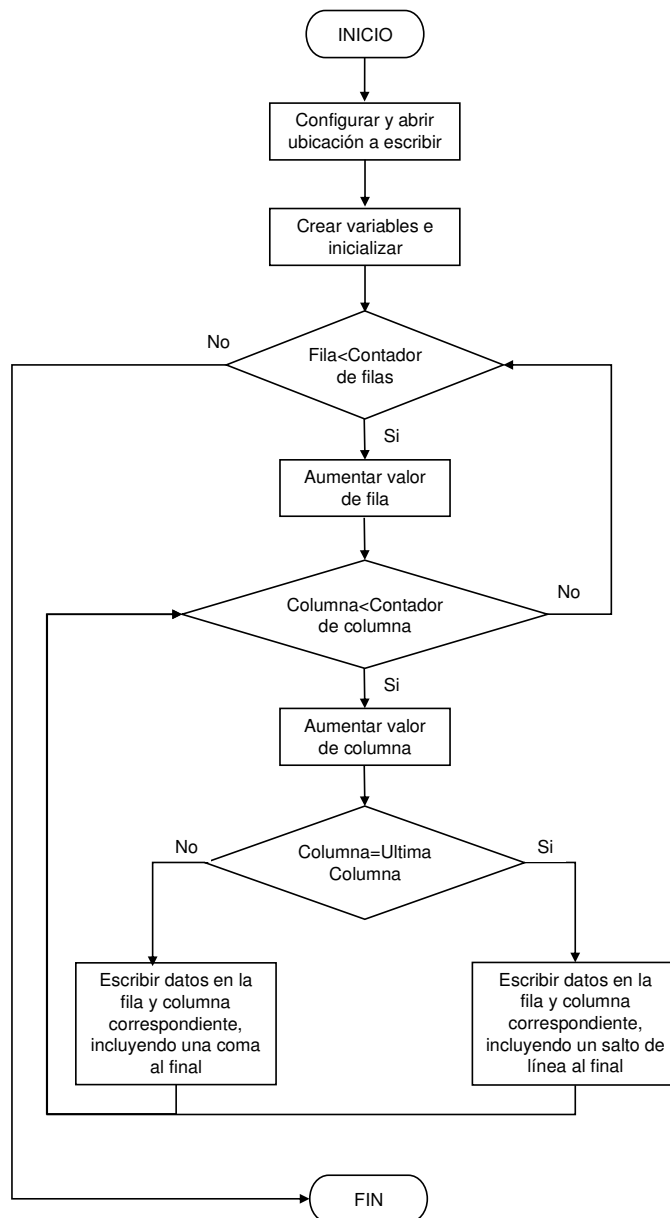
La Figura 2.81 contiene el diagrama de flujo del algoritmo que permite cargar los datos almacenados previamente de las recetas en la tabla del formulario.



**Figura 2.81.** Diagrama de flujo de escribir recetas almacenadas

Al iniciar el formulario se obtiene la dirección donde está ubicado el archivo y se crea las variables tipo string para almacenar los datos y los tipo entero que son los auxiliares para columnas y filas. Se genera dos lazos for anidados en los cuales se realiza el barrido de las filas y dentro de este se hace el barrido de las columnas, en cada espacio de columna se escribirá el dato obtenido del archivo que almacena las recetas. En cada finalización del barrido se aumentará el valor de las filas y columnas, respectivamente; con el final de no sobre escribir en celdas ya utilizadas por otros datos; este proceso continuará en primera instancia hasta completar las columnas y luego las filas disponibles.

La Figura 2.82 contiene el diagrama de flujo del algoritmo de escritura de las recetas, utilizado para almacenar los datos al momento de cerrar el formulario.



**Figura 2.82.** Diagrama de flujo de Guardar recetas

El proceso es similar al de lectura, se configura y se abre la ubicación en la cual va a ser guardado el archivo. Se procede a crear lazos anidados que sirven para el barrido de filas y columnas, en los cuales se ira guardando los datos en la ubicación que se genere.

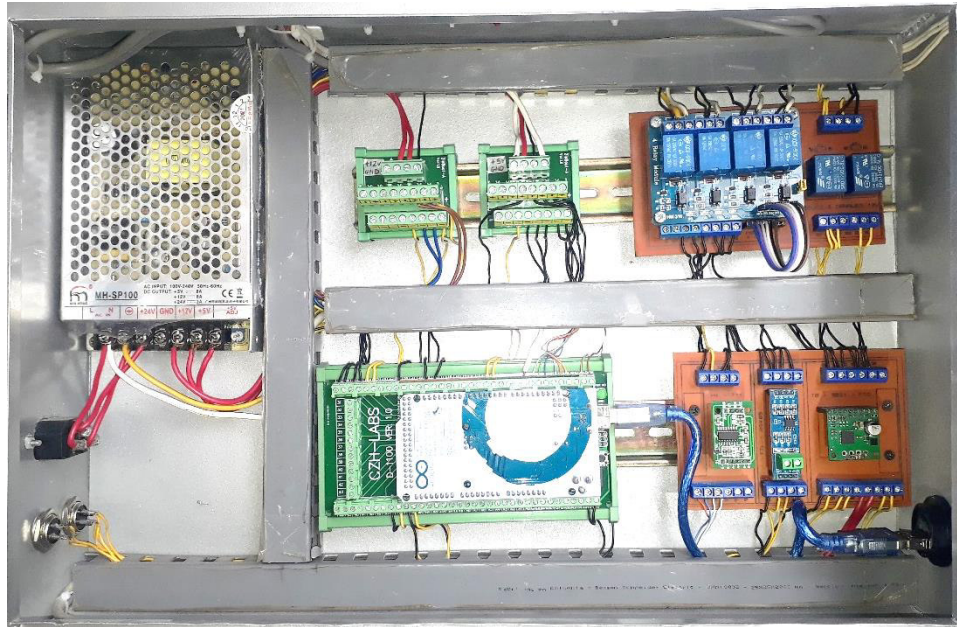
### 3 PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se presenta las pruebas de funcionamiento general y específico como son: de reconocimiento de prototipos conectados plug and play, de verificación de conexión y comunicación entre los diferentes prototipos y la interfaz hombre máquina, de sensores y actuadores en el proceso de dispensación de la cebada, de manipulación de las recetas a dosificar en el sistema y de prueba total de dosificación. Se incluye los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas.

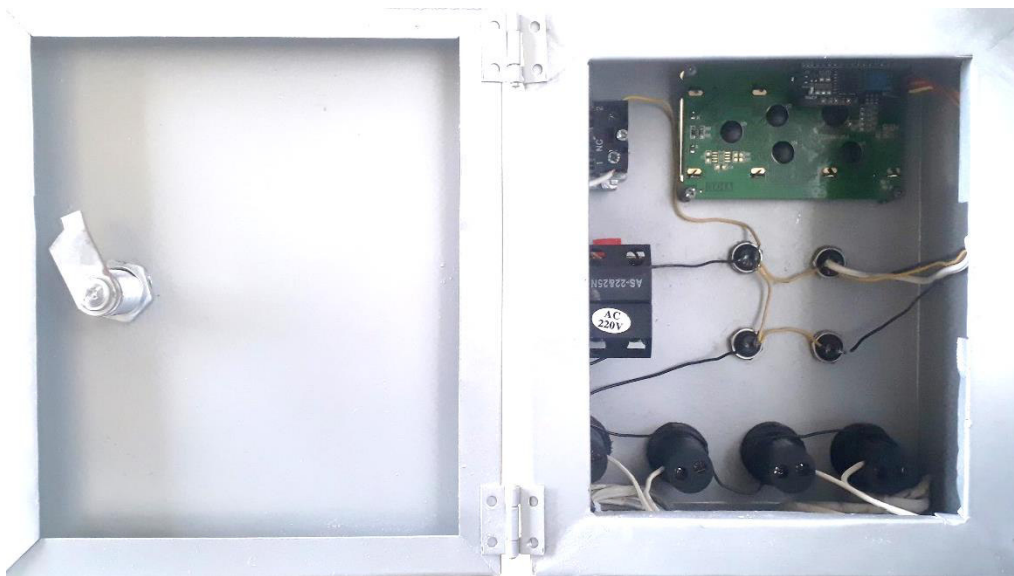
Una vez terminada la parte de la metodología que incluye el diseño e implementación del sistema de dosificación tanto en su parte física, como eléctrica y electrónica incluyendo la programación tanto en el prototipo como la interfaz hombre - maquina, se procede a verificar el funcionamiento de manera individual y de manera conjunta mediante diferentes tipos de pruebas. La Figura 3.1 muestra el prototipo dosificador construido en su parte externa, mientras que la Figura 3.2 y la Figura 3.3 contiene el tablero de control y el mando local en su parte interna, respectivamente.



**Figura 3.1.** Prototipo dosificador construido



**Figura 3.2.** Parte interna del tablero de control



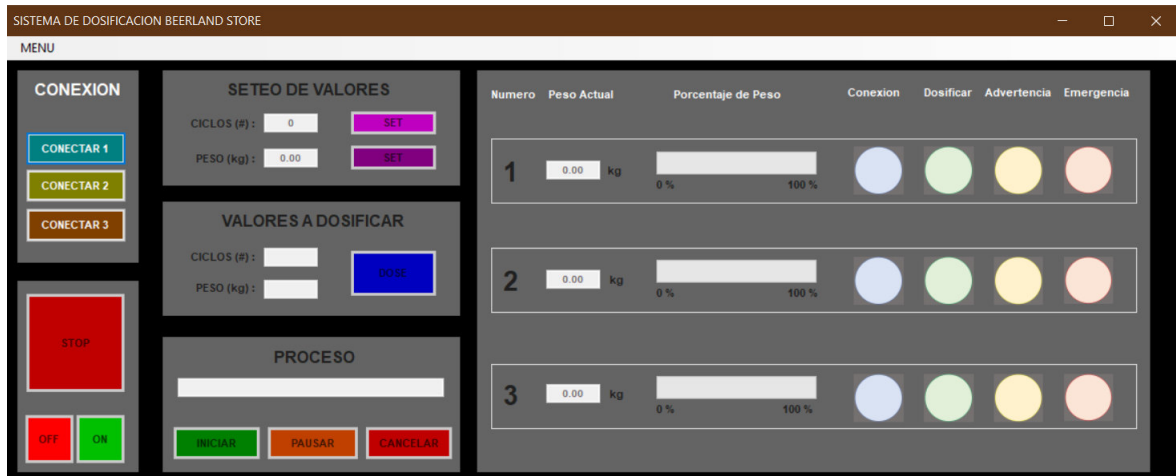
**Figura 3.3.** Parte de control del mando local

### **3.1. PRUEBAS DE INTEGRACIÓN PLUG AND PLAY**

El software implementado en el HMI tiene la capacidad de identificar los dispositivos conectados al sistema mediante conexión plug and play. Identificará los dosificadores conectados mediante la lectura de la dirección propia de cada prototipo, se indica los dosificadores reconocidos por el sistema a través de luces indicadoras de color azul colocadas en la interfaz hombre – maquina.

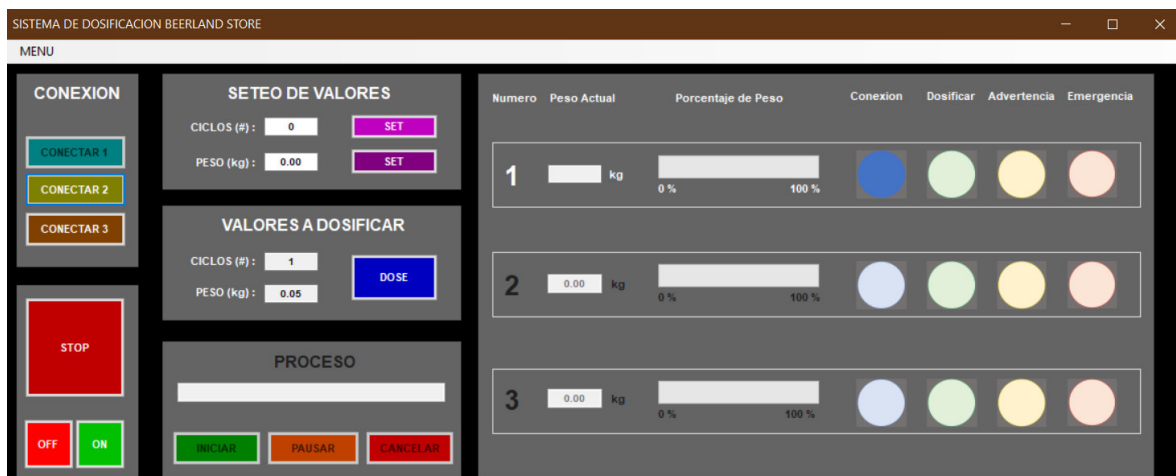


La Figura 3.4 representa el estado de la interfaz hombre – maquina sin ningún dosificador conectado. Los indicadores luminosos de los dosificadores se encuentran apagados.



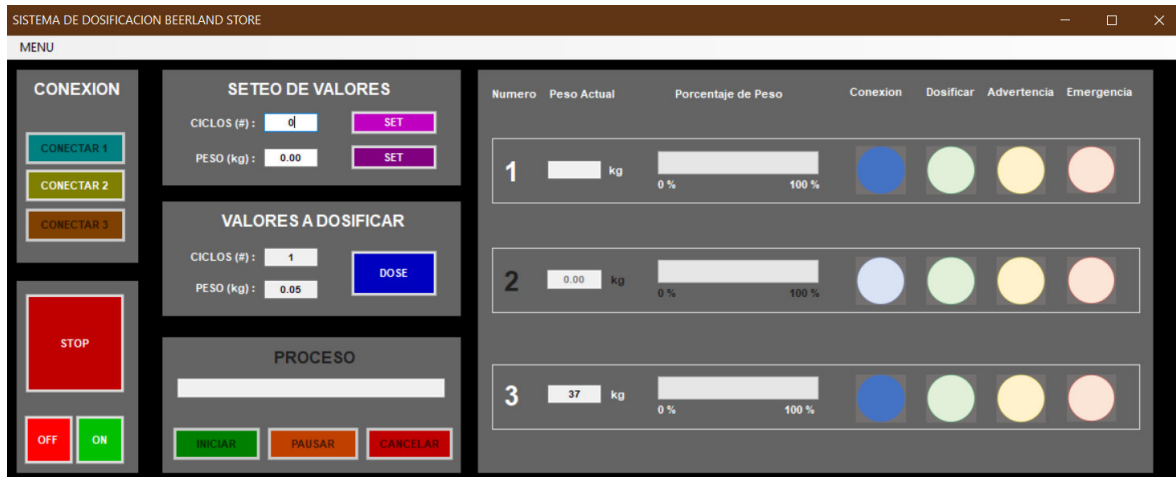
**Figura 3.4.** Interfaz hombre – maquina sin dosificadores conectados

La Figura 3.5 muestra el estado de los prototipos conectados, en el cual se encuentra conectado únicamente el dosificador número uno, por lo tanto, las demás luces indicadoras se encuentran apagadas.



**Figura 3.5.** Interfaz hombre – maquina con un prototipo dosificador conectado.

La Figura 3.6 Indica el reconocimiento de dos dosificadores conectados, equivalentes a las direcciones uno y tres de los prototipos. Se demuestra que no es necesario tener conectados los dosificadores en un respectivo orden, el sistema reconoce los prototipos habilitados sin importar la dirección del prototipo colocada.



**Figura 3.6.** Interfaz hombre – maquina con dos dosificadores conectados.

No se requiere que estén conectados los diez dosificadores que conforman el sistema en general, el software lee y habilita las recetas y los ingredientes a dispensar en función de los dosificadores conectados.

### 3.2. PRUEBAS DE CONEXIÓN Y COMUNICACIÓN

Para verificar la conexión y comunicación entre un prototipo y la interfaz hombre – maquina se evalúa el indicador visual propio de cada dosificador identificado en el HMI, mientras que para una valoración en el prototipo se visualiza en estado del visualizador luminoso de color azul.

La Figura 3.5 muestra el estado de conexión del dosificador uno con la interfaz hombre – maquina. Mientras que la Figura 3.7 representa lo mismo pero en prototipo dosificador.

En la interfaz hombre – maquina el indicador de comunicación exitosa con el prototipo, es el indicador del dosificador identificado con el número del prototipo, que paralelamente sirve para identificar la habilitación de los dispositivos plug and play. Cuando exista comunicación con el dosificador predeterminado se encenderá el visualizador luminoso correspondiente. En el prototipo dosificador se sabrá de una comunicación exitosa, cuando el foco de color azul se encienda, lo cual significa que está integrado al sistema general de dosificación comandado por la interfaz hombre – maquina.

La Figura 3.4 muestra el estado de desconexión del dosificador uno con la interfaz hombre – maquina. Mientras que la Figura 3.8 representa lo mismo pero en prototipo dosificador.



**Figura 3.7.** Prototipo con comunicación con el sistema general de dosificación



**Figura 3.8.** Prototipo sin comunicación con la interfaz hombre - maquina

Cuando un dosificador no tenga la luz de color azul, es decir no se encuentra integrado al sistema de dosificación general, puede trabajar de manera individual e independientemente mediante el tablero de mando local.

### 3.3. PRUEBAS DE SENSORES Y ACTUADORES

En el caso de los sensores de nivel, la cantidad de grano existente en el almacenamiento del dosificador permite la activación o detención de la dispensación, debido a que no se puede trabajar sin la materia prima. De tal forma el sistema posee dos tipos de alarmas tipo visuales para saber la cantidad de grano existente en la tolva de almacenamiento.

La Figura 3.9 muestra la advertencia de nivel en el prototipo, mientras que la Figura 3.10 muestra el mismo proceso pero en el HMI.



Figura 3.9. Alarma preventiva de nivel bajo activada en el prototipo

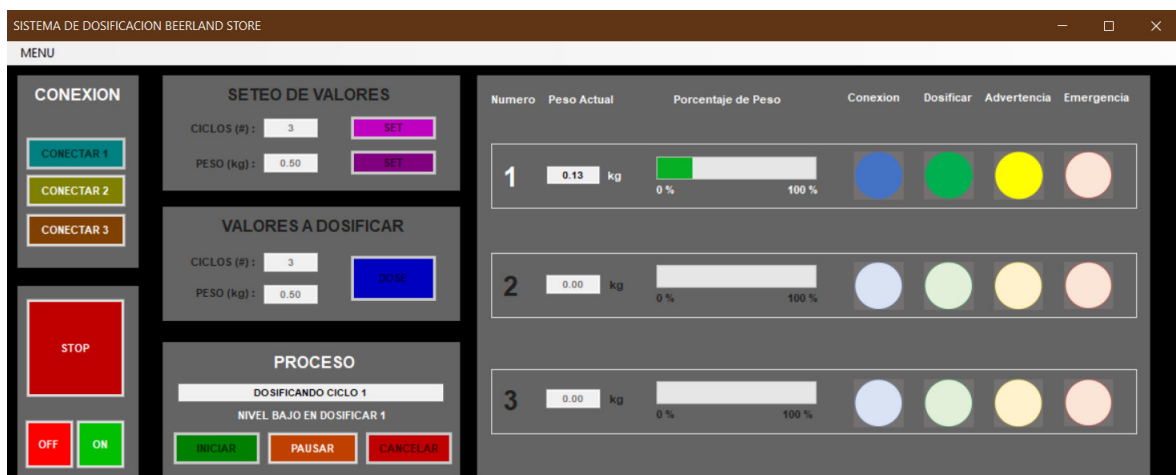


Figura 3.10. Alarma preventiva de nivel bajo activada en el HMI

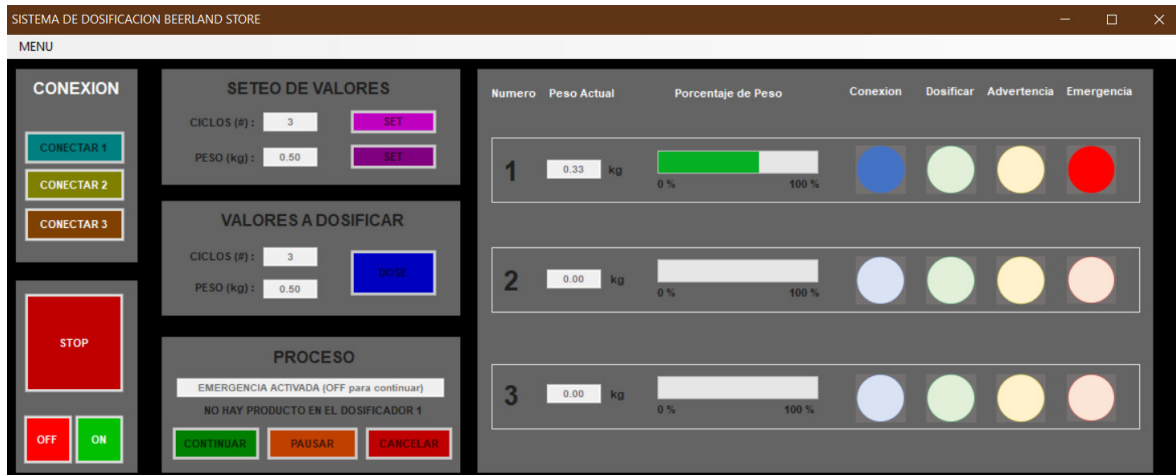
La alarma preventiva que es el encendido del foco de color amarillo en el prototipo dosificador manipulado, además de un mensaje de advertencia a través del visualizador LCD, mientras que en el HMI es el indicador visual de color amarillo en la parte correspondiente al dosificador involucrado y un mensaje de advertencia. Esta alarma indica un nivel bajo del producto, próximo a acabarse, que requiere de recarga de la materia prima en la tolva de almacenamiento, no detiene el sistema.

Otra función del sensor de nivel es activar la alarma de seguridad, es decir el encendido del foco de color rojo en el prototipo dosificador manipulado con su respectivo mensaje de emergencia en el visualizador LCD, mientras que en el HMI es el indicador visual de color rojo en la parte correspondiente al dosificador involucrado y su respectivo mensaje de emergencia. Esta alarma indica un nivel muy bajo del producto, no existe cantidad necesaria para la dosificación, por lo cual detiene el sistema y requiere de recarga de materia prima para poder reanudar el sistema de dosificación.

La Figura 3.11 muestra el estado de emergencia activado por nivel en el prototipo, mientras que la Figura 3.12 indica la misma situación, pero en la interfaz hombre – maquina.



**Figura 3.11.** Alarma de seguridad de nivel muy bajo activada en el prototipo



**Figura 3.12.** Alarma de seguridad de nivel muy bajo activada en el HMI

El actuador, el motor Pololu, se encarga de la dispensación del grano seco de cebada mediante un tornillo sin fin horizontal. Su funcionamiento se evidencia en la luz indicadora de color verde en el prototipo manipulado, de igual forma en el HMI en la parte correspondiente al dosificador en específico. La Figura 3.9 y la Figura 3.10 muestran que el motor está dosificando mediante la luz indicadora de color verde, tanto en el prototipo como el HMI, respectivamente.

Cuando se está dosificando el producto, el visualizador luminoso se encenderá; mientras que cuando deje de trabajar, el indicador se apagará. La Figura 3.7 y la Figura 3.5 muestran que el motor esta apagado mediante la luz indicadora de color verde, tanto en el prototipo como el HMI, respectivamente.

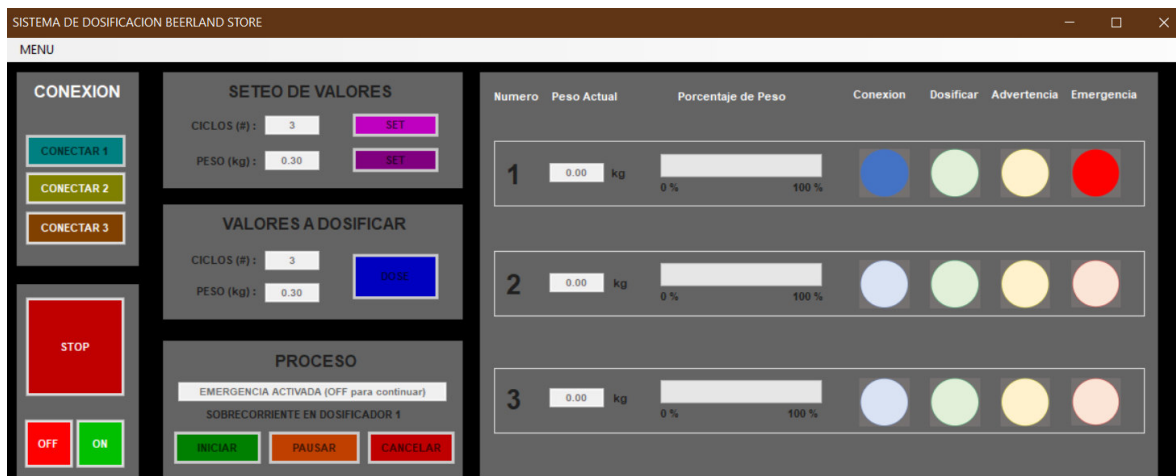
El motor, conjuntamente con su respectivo driver, permite evaluar constantemente el funcionamiento del motor, para lo cual el software de programación implementa funciones para generar alarmas de emergencia en el caso de existir una sobre corriente; esta alarma encenderá luz indicadora de color rojo en el prototipo involucrado y el indicador visual de color rojo en la parte correspondiente al dosificador en el HMI; a la vez se mostrarán mensajes de emergencia indicando la causa de la alarma tanto en el visualizador LCD en el prototipo, como en el HMI.

La Figura 3.13 muestra el estado de emergencia activado por sobre corriente en el motor en el prototipo, mientras que la Figura 3.14 indica el mismo estado pero en la interfaz hombre – maquina.





**Figura 3.13.** Alarma de peligro generada en el motor mostrada en el prototipo



**Figura 3.14.** Alarma de peligro generada en el motor mostrada en el HMI

Al ser una alarma de peligro, el sistema se detendrá en su totalidad y se reiniciará una vez solucionado el inconveniente.

### 3.4. PRUEBAS DE INGRESO Y MODIFICACIÓN DE RECETAS

La interfaz hombre – maquina es la encargada de permitir el ingreso de las recetas nuevas y la modificación de las ya existentes en tabla del HMI.

La Figura 3.15 muestra la interfaz hombre – máquina de las recetas sin ingresar ningún contenido.

	NOMBRE	INGREDIENTE 1 (kg)	INGREDIENTE 2 (kg)	INGREDIENTE 3 (kg)
*				

**Figura 3.15.** Ventana sin recetas ingresadas

Para el ingreso de una nueva receta se procede a vaciar los campos de texto de los ingredientes y del nombre, se coloca los valores y el título de la receta y se procede a dar clic en el botón agregar, automáticamente se registrará en la tabla disponible.

Como ejemplo de prueba se ingresa una nueva receta con los siguientes datos:

- Nombre: Principal
- Ingrediente 1 (kg): 0.30
- Ingrediente 2 (kg): 0.50
- Ingrediente 3 (kg): 0.80

La Figura 3.16 muestra la escritura de los datos próximos a cargarse en la tabla, mientras que la Figura 3.17 indica los datos cargados en la tabla, una vez que se ha dado clic en el botón agregar.



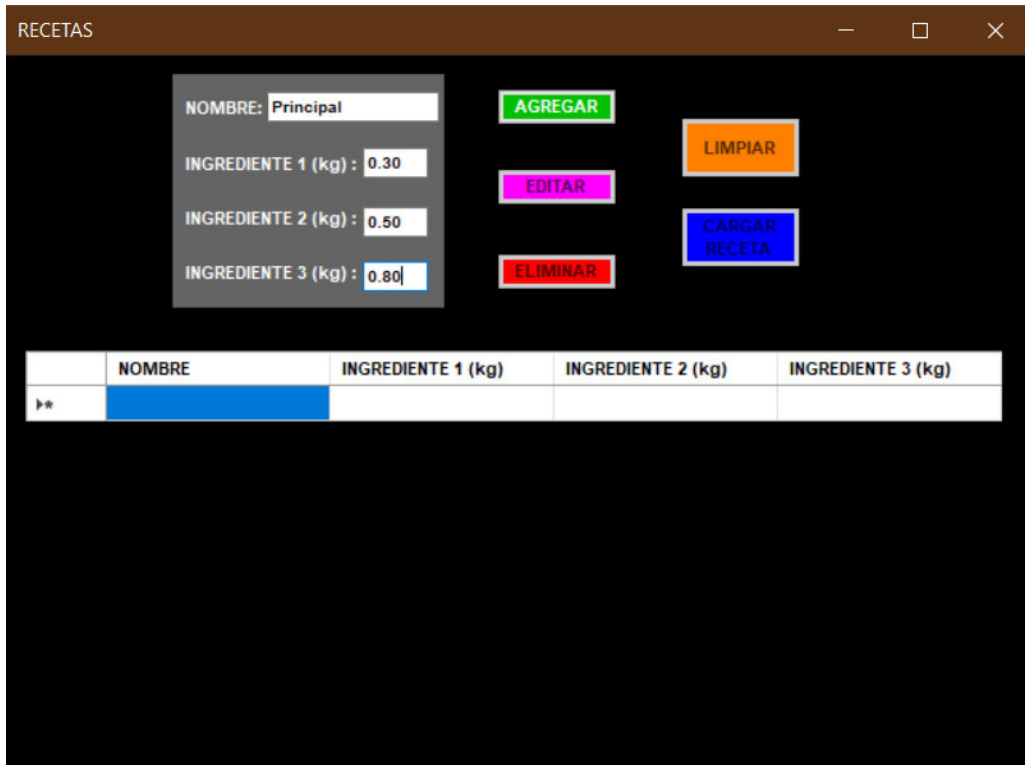


Figura 3.16. Ventana de ingreso para nueva receta

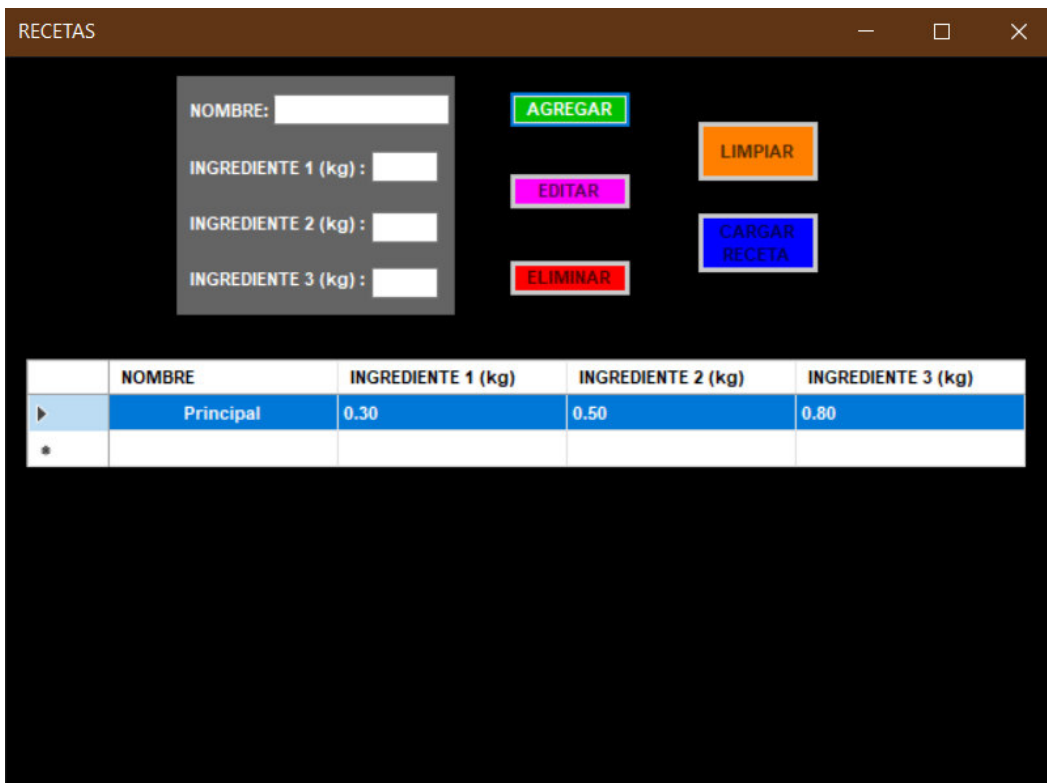


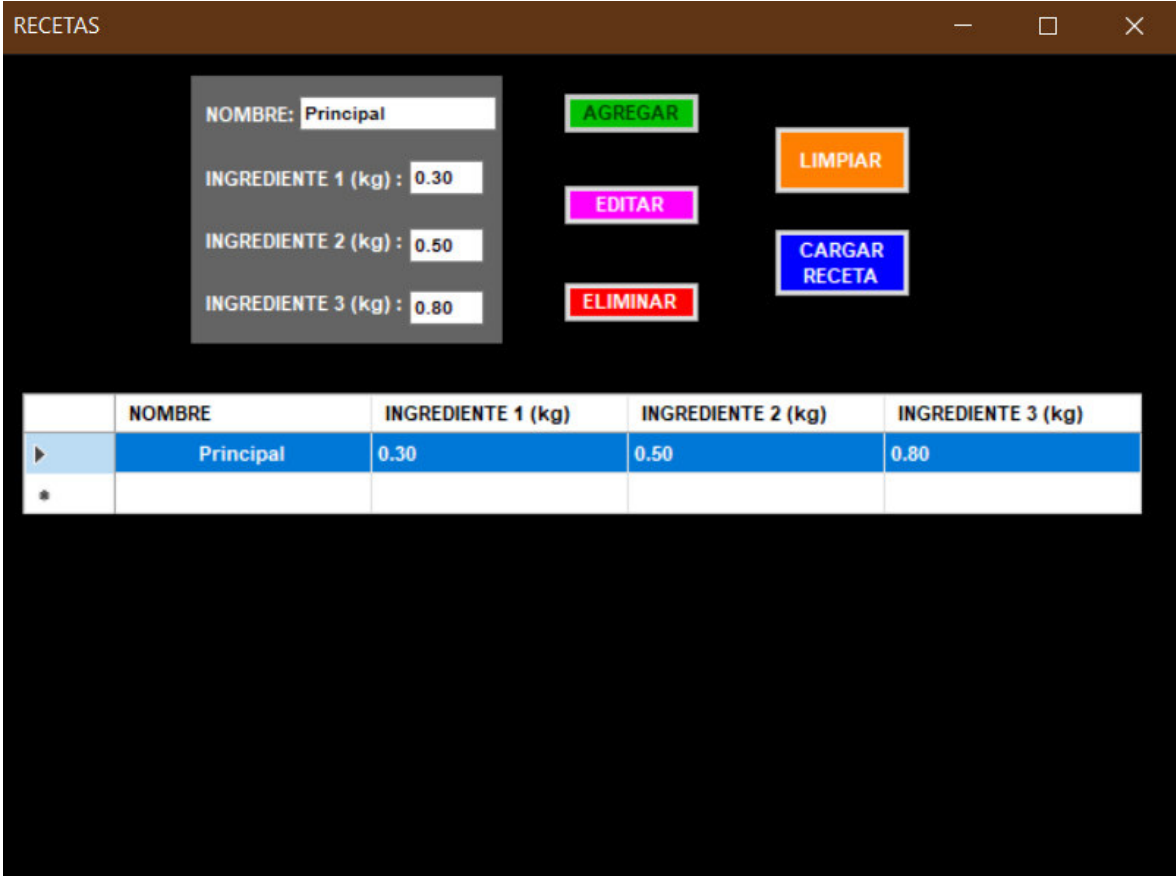
Figura 3.17. Ventana con receta nueva ingresada en base de datos

Con al menos una receta ingresada en la base de datos, es posible modificar la receta actual, para lo cual se requiere seleccionar la receta a modificar mediante la selección de la fila que contiene los datos de esta. Se procede a cambiar los datos que se requieran y cuando ya este hecho los cambios se da clic en la opción modificar.

Se toma como ejemplo de prueba la receta antes ingresada, en la cual se modificará el nombre y la cantidad del ingrediente 3, como se muestra a continuación:

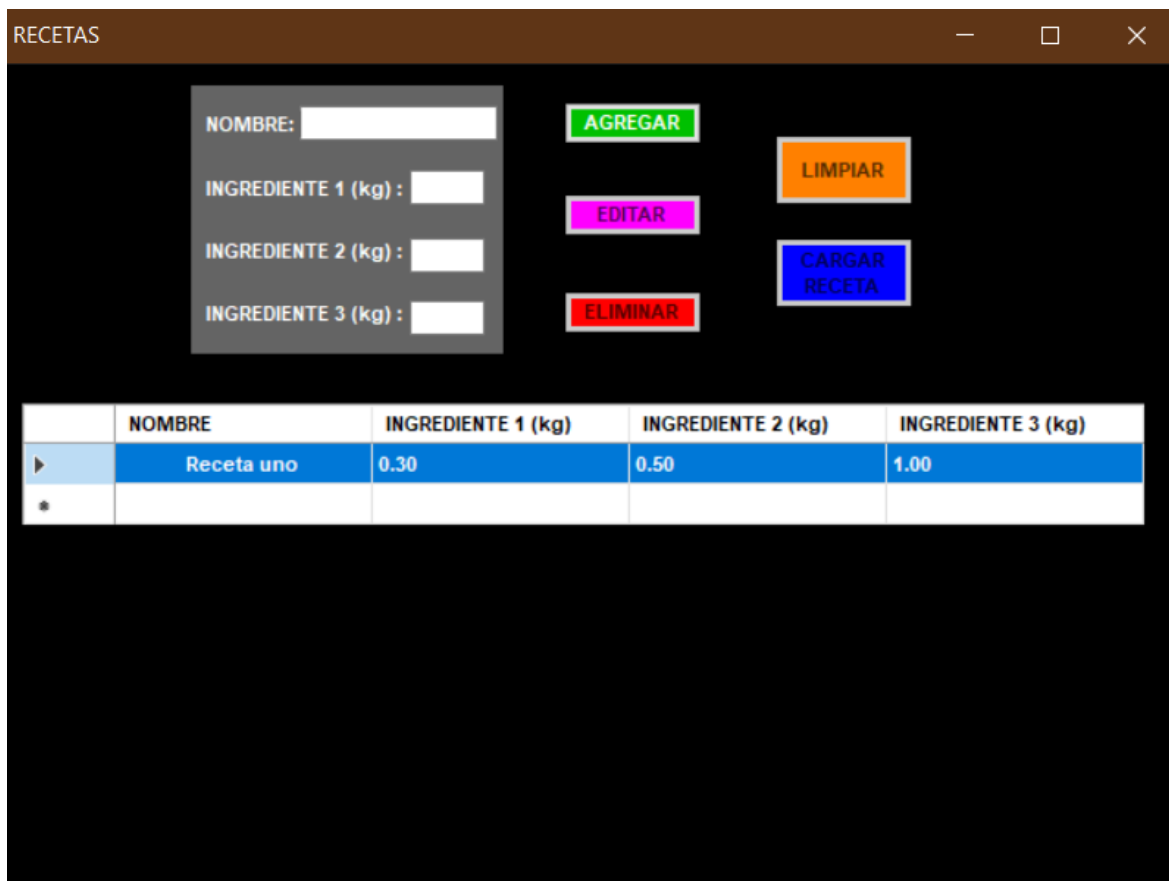
- Nuevo nombre de la receta: Receta uno
- Nueva cantidad de ingrediente 3 (kg): 1.00

La Figura 3.18 muestra la selección de la fila de la receta a modificar con los valores cargados en las cajas de texto, mientras que la Figura 3.19 muestra la receta modificada con los nuevos valores cambiados después de haber dado clic en el botón Editar.



	NOMBRE	INGREDIENTE 1 (kg)	INGREDIENTE 2 (kg)	INGREDIENTE 3 (kg)
▶	Principal	0.30	0.50	0.80
*				

**Figura 3.18.** Ventana de selección de receta a modificar



**Figura 3.19.** Base de datos con receta modificada

### 3.5. PRUEBAS DE DOSIFICACIÓN

El proceso de dosificación de la cebada se puede realizar mediante el mando local y a través del mando remoto, de manera simultánea.

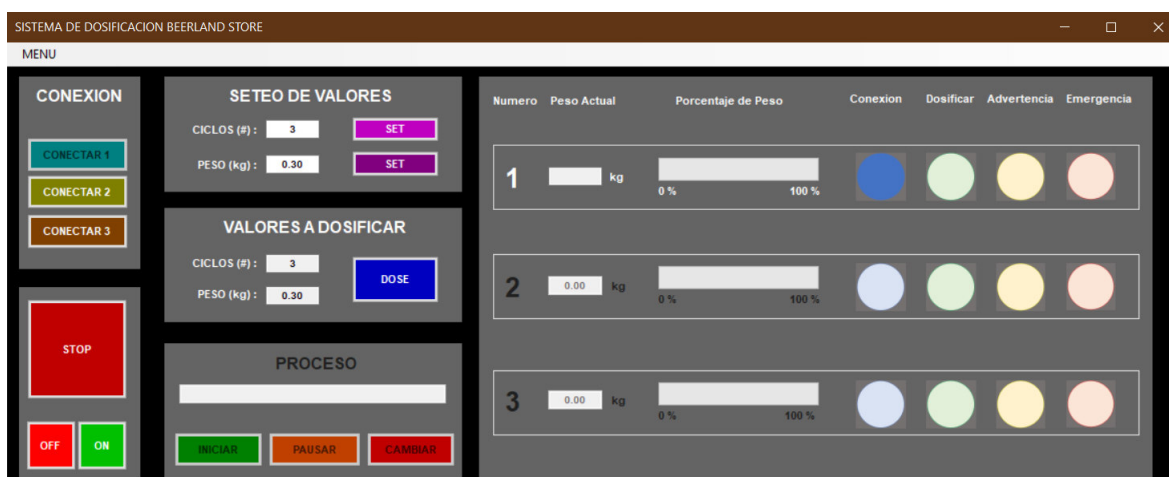
En primera instancia se debe ingresar la consigna de los valores, tanto del peso como del número de ciclos, mediante los pulsadores de Bajar y Subir para disminuir o aumentar las cantidades, respectivamente. Los pulsadores Enter y Cancelar permiten avanzar o retroceder en el proceso de dosificación.

La Figura 3.20 muestra el ingreso de valores a consignar en el prototipo, mientras que la Figura 3.21 indica lo mismo pero en la interfaz hombre – maquina. Para esta prueba se utiliza los siguientes datos:

- Número de ciclos: 3
- Peso por dosificar: 0.3 kg

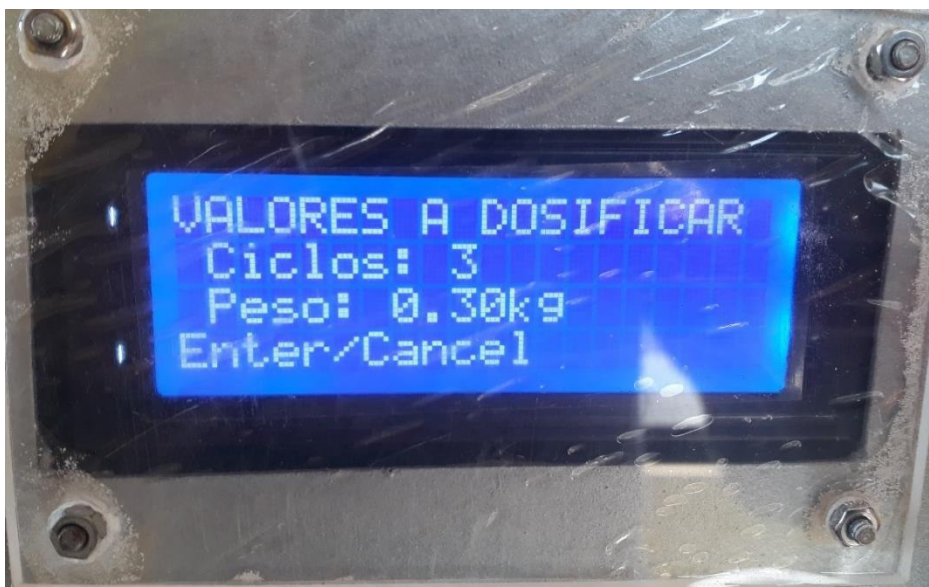


**Figura 3.20.** Ingreso de valores de consigna en mando local

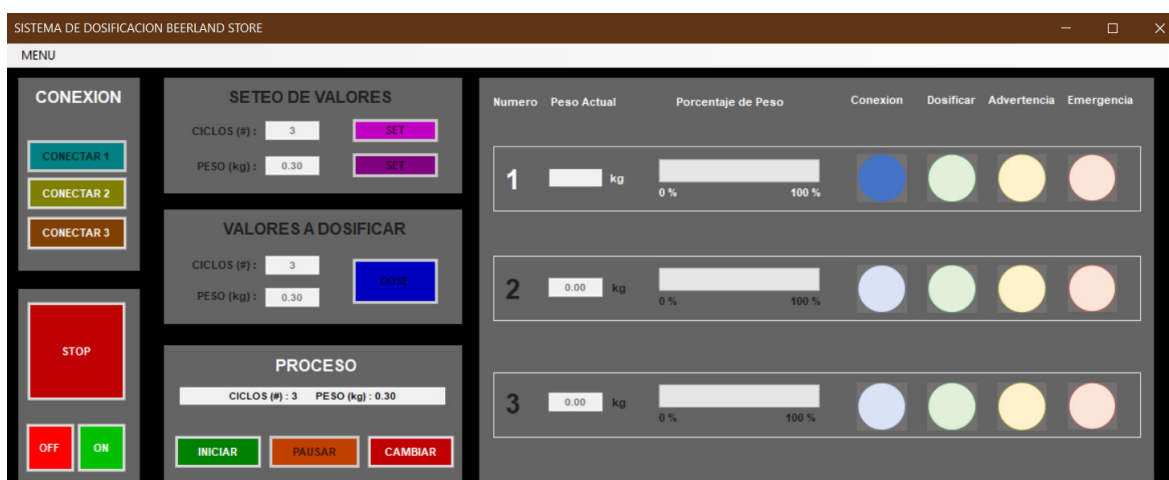


**Figura 3.21.** Ingreso de valores consigna en el HMI

Una vez ingresado los valores consignados, se tiene un menú de confirmación de los datos, en los cuales se puede aceptar para continuar con la dosificación o Cancelar para cambiar los valores, tal como muestran las Figuras 3.22 y 3.23, tanto en el prototipo como en HMI, respectivamente.



**Figura 3.22.** Confirmación de valores a dosificar en el prototipo



**Figura 3.23.** Confirmación de valores a dosificar en el HMI

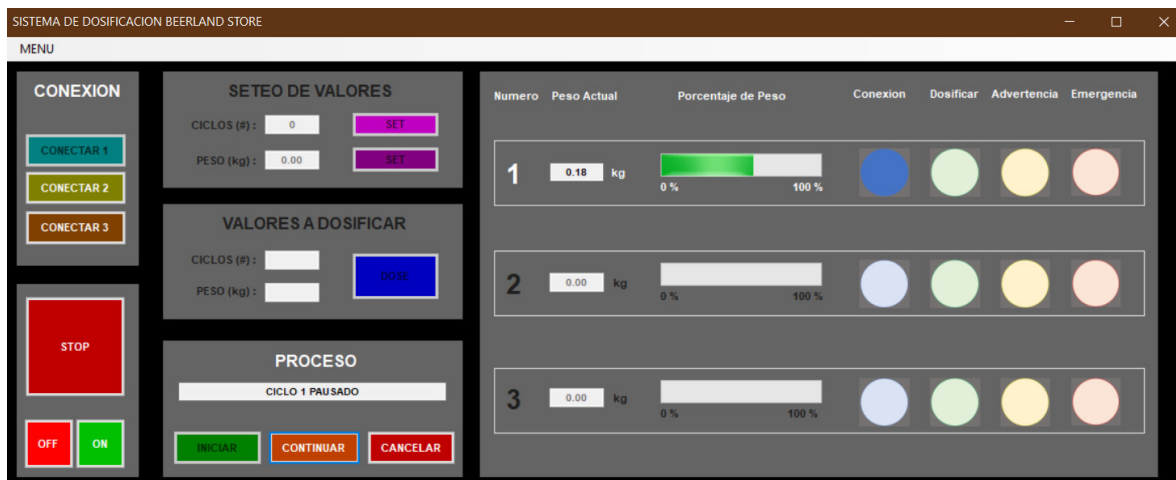
Una vez aceptada la confirmación de los valores consignados, se procede a la dosificación, en la cual se muestra los datos consignados y los valores actuales en la pantalla LCD del mando local, mientras que en el HMI se muestra el mensaje de dosificación en la sección proceso y el valor del peso como el de su porcentaje en la sección propia de cada dosificador.

La Figura 3.9 muestra el proceso de dosificación en el mando local, mientras que la Figura 3.10 indica en el HMI el mismo proceso.

En el caso de producirse una pausa al proceso de dosificación, la pantalla a mostrar en el LCD es la de la Figura 3.24 y en el HMI es la Figura 3.25



**Figura 3.24.** Ciclo de dosificación pausada en el prototipo



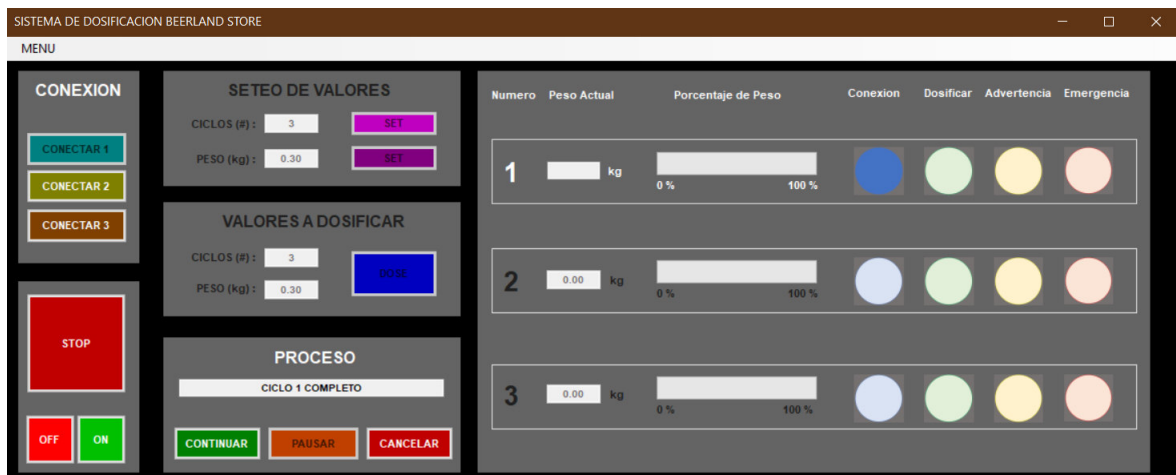
**Figura 3.25.** Ciclo de dosificación pausada en el HMI

Cuando haya finalizado un ciclo de dispensación se visualizará un mensaje en el LCD y en la interfaz hombre – maquina; se procede a retirar el producto y colocar nuevamente el recipiente recolector para continuar con el siguiente ciclo. La Figura 3.26 muestra la información en el prototipo cuando ha terminado un ciclo, mientras que la Figura 3.27 indica la misma información pero en la interfaz hombre -máquina.



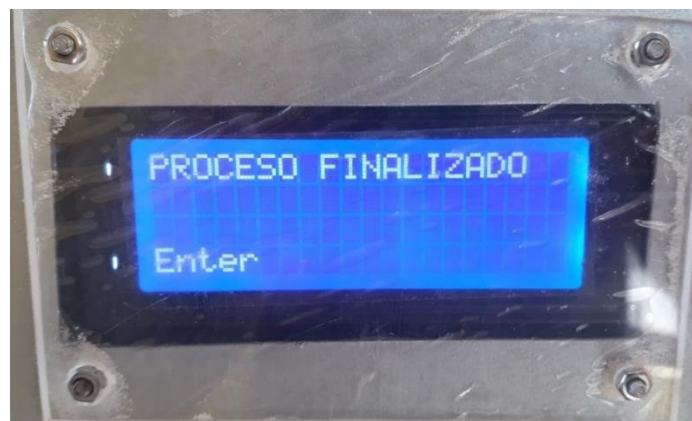


**Figura 3.26.** Fin de ciclo de dosificación en mando local

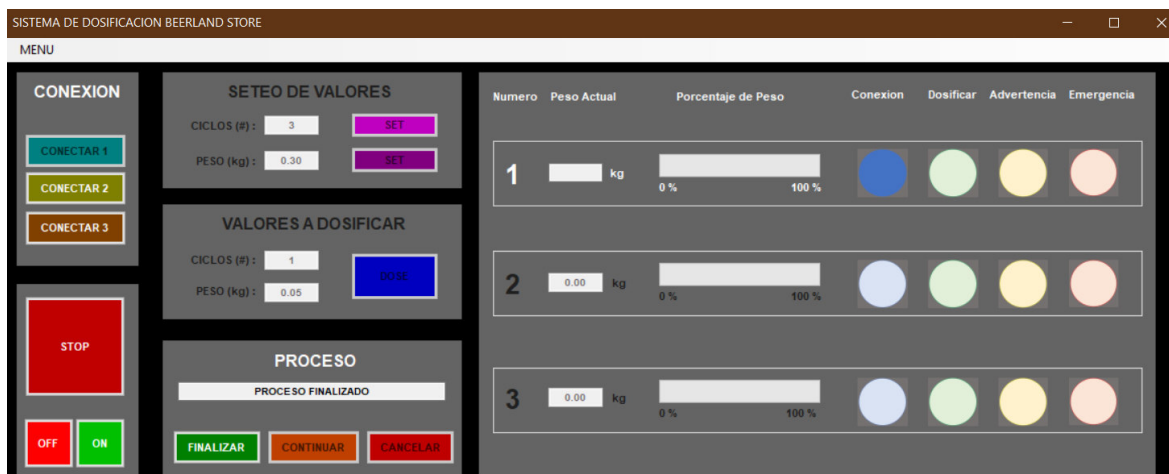


**Figura 3.27.** Fin de ciclo de dosificación en mando remoto

Una vez finalizado todos los ciclos se da por finalizado el proceso y se muestra el mensaje correspondiente tanto en el prototipo como en la interfaz hombre – maquina, tal como muestran las Figuras 3.28 y 3.29, respectivamente.



**Figura 3.28.** Visualización de fin del proceso en mando local



**Figura 3.29.** Visualización de fin del proceso en mando remoto

Se realiza cinco ciclos de dosificación y se compara con las pesas patrón; este proceso se repite para varios pesos de dosificación, como son de 0.1 kg, 0.3 kg, 0.5 kg, 1 kg, 1.5 kg y 2 kg, cada una con su misma cantidad de ciclos.

Para cada ciclo de cada valor, se obtiene el error relativo y el error absoluto en función del peso dosificado y las pesas patrón, utilizando la Ecuación 3.1 y la Ecuación 3.2; respectivamente.

$$Error\ absoluto\ [kg] = Valor\ Real - Valor\ Medido \quad (3.1)$$

$$Error\ relativo\ [\%] = \frac{Valor\ Real - Valor\ Medido}{Valor\ Real} * 100 \quad (3.2)$$

Los valores obtenidos mediante las pruebas de dosificación se muestran en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1.** Valores obtenidos mediante las pruebas de dosificación

PESO CONSIGNADO (kg)	CICLO (numero)	PESO DOSIFICADO (kg)	PESO PATRÓN (kg)	ERROR ABSOLUTO (kg)	ERROR RELATIVO (%)
0,10	1	0,110	0,100	0,010	10,0
	2	0,108	0,100	0,008	8,0
	3	0,107	0,100	0,007	7,0
	4	0,104	0,100	0,004	4,0
	5	0,105	0,100	0,005	5,0
0,30	1	0,308	0,300	0,008	2,7
	2	0,309	0,300	0,009	3,0
	3	0,311	0,300	0,011	3,7
	4	0,312	0,300	0,012	4,0
	5	0,309	0,300	0,009	3,0



0,50	1	0,512	0,500	0,012	2,4
	2	0,507	0,500	0,007	1,4
	3	0,500	0,500	0,000	0,0
	4	0,505	0,500	0,005	1,0
	5	0,512	0,500	0,012	2,4
1,00	1	1,001	1,000	0,001	0,1
	2	1,013	1,000	0,013	1,3
	3	1,007	1,000	0,007	0,7
	4	1,000	1,000	0,000	0,0
	5	1,009	1,000	0,009	0,9
1,50	1	1,503	1,500	0,003	0,2
	2	1,500	1,499	0,001	0,1
	3	1,500	1,500	0,000	0,0
	4	1,505	1,500	0,005	0,3
	5	1,500	1,500	0,000	0,0
2,00	1	2,003	1,996	0,007	0,4
	2	2,004	2,000	0,004	0,2
	3	2,004	1,996	0,008	0,4
	4	2,000	1,996	0,004	0,2
	5	2,000	2,000	0,000	0,0

La medición de los diferentes pesos se realiza con una balanza externa a la colocada en el dosificador, la cual permite comprobar los pesos obtenidos entre las pesas patrón y los pesos dosificados. Para obtener una mejor apreciación de los resultados obtenidos en esta prueba se realiza con tres decimales en los valores comparativos, como son el peso dosificado y el peso patrón.

En el error relativo se puede apreciar que los valores obtenidos van disminuyendo conforme se aumenta el peso dosificado, teniendo como máximo en su error un 10% obtenido en valores consignados de 0,1 kg; mientras que para valores más grandes como son 0.5 kg, 1 kg, en adelante, ya existen valores en los cuales el error relativo es 0%.

En los resultados del error absoluto se puede apreciar que el mayor valor es de 0.013 kg de diferencia con el valor referencial, incluso existe casos en los que el valor dosificado es exactamente el mismo que el consignado; todos los valores dosificados en todos los diferentes valores consignados no presentan gran diferencia entre ellos por lo cual posee una gran precisión y al no estar muy alejados del valor consignado, también poseen una gran exactitud; teniendo en cuenta que la precisión y la exactitud de los pesos dosificados es mayor conforme el valor consignado aumenta. Por lo cual se puede determinar que el dosificador posee una precisión y exactitud de +15 gramos.

## **4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Este capítulo abarca las conclusiones obtenidas en base al diseño, construcción e implementación de todo el sistema de dosificación, que incluye de la parte mecánica y de la parte eléctrica y electrónica tanto en el software como el en hardware. También se incluyen recomendaciones a tomar en cuenta para futuros trabajos y proyectos similares en función de las pruebas realizadas, de los resultados y de las experiencias adquiridas durante la realización del sistema de dosificación por peso.

### **4.1. CONCLUSIONES**

- La información disponible sobre los diferentes tipos de dosificadores es amplia y diversa, por lo cual se elige la que más se aproxima a las necesidades requeridas por la empresa Beerland Store, entre las cuales se tiene el espacio a ocupar, la velocidad de dosificación, el costo de los elementos que involucra, entre otros y a partir de esto se procede a diseñar tanto en primera instancia la parte mecánica y posteriormente la parte eléctrica y electrónica.
- Para la construcción del prototipo dosificador se requirió de un diseño a detalle de cada parte de acuerdo a las necesidades indicadas por parte de la empresa Beerland Store, como son las funciones a realizar, sin embargo en el proceso de construcción se presentaron inconvenientes, por lo cual fue necesario ir modificando la metodología de fabricación conforme a lo que la ingeniería mecánica podía realizar hasta obtener el prototipo funcional final y sin alterar los requerimientos de la empresa.
- Dentro de los elementos electrónicos utilizados en el tablero de control, se encuentran los sensores de nivel, los cuales su voltaje nominal es de 12v por lo cual no se le puede conectar su señal de salida de manera directa al Arduino debido a que el voltaje que soporta las entradas digitales de este, es de máximo 5v; por lo tanto fue necesario crear un acondicionamiento que permita el acople entre estos elementos mediante un relé de 12v, donde se recibe la señal de salida del sensor capacitivo en la bobina del relé, mientras que el contacto normalmente abierto permite la activación de la entrada digital del Arduino.
- El sistema de dosificación completo involucra diez prototipos dosificadores y una interfaz hombre – maquina, sin embargo el prototipo construido en este proyecto de titulación tiene capacidad de trabajar de manera directa con el HMI sin necesidad

de tener conectado los otros nueve dosificadores; además, puede funcionar de manera independiente, es decir sin necesidad de estar conectado al HMI; lo cual brinda modalidades de funcionamiento adicionales facilitando su operación.

- El prototipo dosificador tiene que cumplir todas las funciones del mando remoto pero de manera independiente, para lo cual se genera un sistema de menú que se muestra en la pantalla LCD y es manipulado con los pulsadores del mando local, este menú abarca todo el contenido del mando remoto mediante el paso de los diferentes submenú, donde se puede ingresar la cantidad de peso a dosificar, los ciclos de repeticiones, nivel del producto en la tolva, entre otros.
- El dosificador posee muchos elementos eléctricos y electrónicos, en los cuales se tomó en cuenta cualquier posible anomalía en su funcionamiento normal como es sobre corriente, polarización inversa, sobre carga, entre otros, esto fue posible gracias a la optimización de funciones disponibles en los acondicionamientos; con lo cual se alarga la funcionalidad del de los diferentes elementos porque trabajan bajo condiciones óptimas y en caso de suceder algún evento inesperado se levanta mensajes de emergencia y se detiene el proceso.
- La programación del software, tanto en la parte del Arduino como en la de Visual Studio, involucra muchas líneas de codificación, por lo cual se distribuyó y se organizó en funciones, con el fin de evitar el barrido de código repetitivo e innecesario; además, se utiliza librerías preestablecidas en la memoria interna de los respectivos programas para agilizar y optimizar el llamado y actuación de los diferentes elementos electrónicos como son el sensor de peso, la pantalla LCD, entre otros.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

- Existen elementos y materiales mecánicos predefinidos en diferentes medidas y formas como son tubos y planchas de acero y de tol galvanizado, para lo cual se recomienda utilizar medidas de materiales ya existentes en el mercado para facilitar la construcción y el ensamblaje de la estructura física del dosificador sin necesidad de realizar una propia construcción de elementos similares.
- Al momento de realizar el diseño de la colocación y sujeción de los elementos en el tablero de control y de mando, se recomienda tomar en cuenta las dimensiones de los pulsadores, luces pilotos, entre otras; debido a que posee medidas de volumen

y medidas de montaje y roscado, para lo cual es importante identificar y diseñar en base a estas medidas, teniendo como dato el espacio volumétrico a ocupar y el espacio que requiere para la perforación y sujeción de los elementos.

- El prototipo dosificador está expuesto a condiciones ambientales donde existe partículas pequeñas que pueden afectar a los elementos que se encuentran colocados en el tablero de control y mando, para lo cual se recomienda usar elementos con protección IP alta como son los pulsadores y luces indicadoras; en caso de que no exista elementos con esta protección, se debe colocar algún elemento que los proteja como en el caso del visualizador LCD que se encuentra con un acrílico en la parte externa.
- En la parte de desarrollo e implementación del software, en especial en la comunicación entre el prototipo dosificador y la interfaz hombre – maquina, se debe tomar en cuenta el tipo de comunicación que se está implementado, si es sincrónica o asincrónica, con el fin de coordinar tiempos entre el emisor y el receptor de manera simultánea; así mismo se debe considerar el tiempo de transmisión y recepción de datos mediante los puertos de comunicación, que aunque se aun tiempo mínimo, se transforma en un tiempo considerable cuando la comunicación involucra muchos mensajes y datos.
- Para la construcción de la parte mecánica del dosificador se requirió conocimientos en áreas fuera de la preparación que involucra la ingeniería electrónica y control, para lo cual se recomienda dominar a un nivel intermedio algún software de diseño y simulación de partes mecánicas como AutoCAD que fue utilizado en este proyecto de titulación.
- Para futuros trabajos en el sistema automático de dosificación de granos por peso se puede mejorar el método de comunicación entre el computador y el prototipo dosificador mediante el puerto serial RS – 485 ya colocado en la estructura física. También se puede ampliar la cantidad de prototipos dosificadores mediante el mismo modelo de diseño de la estructura física y con el mismo software de programación cargado en el Arduino mega, finalmente se puede agregar secciones en el HMI para integrar a los demás prototipos al sistema de mando remoto.

## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] K. Sarzosa. “Diseño y construcción de una dosificadora automática de granos secos”. Tesis de ingeniería. Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador. 2017.
- [2] C. González, J. Sánchez. “Diseño y construcción de una maquina dosificadora de grano pequeño para pequeñas industrias”. Tesis de ingeniería. Universidad de San Buenaventura. Bogotá, Colombia. 2008.
- [3] Direct Industry. “Alimentador dosificador por peso vibrantes”. Dosy Pack Series. España. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/netter-vibration/product-34923-2253757.html> [Ultimo acceso: febrero 2022]
- [4] Tarnos. “Accionamientos y vibradores electromagnéticos”. Madrid, España. 2020.[En línea]. Disponible en: <https://www.tarnos.com/wp-content/uploads/2020/08/5-VIBRADORES-ELECTROMAGNE%CC%81TICOS-LINEALES.pdf> [Ultimo acceso: febrero 2022]
- [5] I. Valarezo, G. Vizuite. “Diseño de una dosificadora de jabones de glicerina con capacidad de setenta y dos unidades por minuto”. Tesis de ingeniería. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. 2016.
- [6] Tecno Embalaje. “Dosificador tornillo para polvos 2000 ml”. Bogotá, Colombia. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://tecnoembalaje.com/producto/dosificador-tornillo-sin-fin/> [Ultimo acceso: febrero 2022]
- [7] Murtfeldt Kunststoffe. “Soluciones individuales – Tornillos sin fin de transporte de plástico”. Productos Individuales. Dortmund, Alemania. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.murtfeldt.es/servicios/soluciones-individuales/tornillos-sinfin/> [Ultimo acceso: febrero 2022]
- [8] Instituto Tecnológico de Queretano. “Comunicaciones digitales: Protocolos seriales (uC)”. Queretano, México. 2021. [En línea]. Disponible en: [http://www.itq.edu.mx/carreras/IngElectronica/archivos\\_contenido/Apuntes%20de%20materias/ETD1022\\_Microcontroladores/4\\_SerialCom.pdf](http://www.itq.edu.mx/carreras/IngElectronica/archivos_contenido/Apuntes%20de%20materias/ETD1022_Microcontroladores/4_SerialCom.pdf) [Ultimo acceso: febrero 2022]
- [9] MCI Electronics. “Señales Tx y Rx”. Santiago, Chile. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://cursos.mcielectronics.cl/2019/06/18/senales-tx-y-rx/> [Ultimo acceso: febrero 2022]

- [10] Control Automático Educación. "Bus de Comunicación I2C con Arduino". 2021. [En línea]. Disponible en: <https://controlautomaticoeducacion.com/arduino/bus-comunicacion-i2c/> [Último acceso: febrero 2022]
- [11] X. Han and X. Kong, "The Designing of Serial Communication Based on RS232," 2010 First ACIS International Symposium on Cryptography, and Network Security, Data Mining and Knowledge Discovery, E-Commerce and Its Applications, and Embedded Systems, 2010, pp. 382-384, doi: 10.1109/CDEE.2010.80.
- [12] O. Torrente, "Arduino. Curso práctico de formación", Primera edición, Madrid, España, Alfaomega Grupo Editor, 2013.
- [13] Wexter Home. "Crear Funciones en Arduino - Programación Modular". 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.wexterhome.com/curso-arduino/crear-funciones-en-arduino/> [Último acceso: febrero 2022]
- [14] Aprendiendo Arduino. "Interrupciones". 2018. [En línea]. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/13/interrupciones/> [Último acceso: febrero 2022]
- [15] Herramientas tecnológicas profesionales. "Arduino PWM con Arduino uno". España. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/arduino-pwm/> [Último acceso: febrero 2022]
- [16] Aprendiendo Arduino. "Entradas y salidas analógicas Arduino, PWM". España. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/pwm/> [Último acceso: febrero 2022]
- [17] Ingemechanica. "Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin". Sevilla, España. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://ingemechanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html> [Último acceso: febrero 2022]
- [18] Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. "Cebada 2C nacional 11,3% PB". España. 2021. [En línea]. Disponible en: [http://www.fundacionfedna.org/node/495#:~:text=El%20grano%20de%20cebada%20est%20C3%A1,endospermo%20\(incluyendo%20la%20aleurona\).&text=El%20pericarpio%20est%20C3%A1%20lignificado%20y,%20C%20prote%20C3%ADna%20C%20triglic%20C3%A9ridos%20y%20az%20C3%BAcares.](http://www.fundacionfedna.org/node/495#:~:text=El%20grano%20de%20cebada%20est%20C3%A1,endospermo%20(incluyendo%20la%20aleurona).&text=El%20pericarpio%20est%20C3%A1%20lignificado%20y,%20C%20prote%20C3%ADna%20C%20triglic%20C3%A9ridos%20y%20az%20C3%BAcares.) [Último acceso: febrero 2022]
- [19] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. "Anexo 2 - Características físicas de los productos". Tabla densidad aparente. Roma, Italia. 2021.

[En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x5041s/x5041S09.htm> [Ultimo acceso: febrero 2022]

[20] J. Castillo, V. Rojas, J. Martínez. “Determinación del Torque y Potencia de un Motor de Combustión Interna a Gasolina Mediante el Uso de Bujía con Sensor de Presión Adaptado y Aplicación de un Modelo Matemático”. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. Abril, 2017.

[21] E. Martínez. “Automatización de una máquina industrial de llenado”. Tesis de fin de grado. Escuela Universitaria Politécnica la Almunia. Zaragoza, España. 2018.

[22] Min Hong. “85W Triple Output Switching Power Supply.”. Datasheet. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.meanwell.com/productPdf.aspx?i=488#1> [Ultimo acceso: febrero 2022]

[23] Naylamp Mechatronics. “SENSOR DE PROXIMIDAD CAPACITIVO LJC18A3-H-Z/BX (NPN-NO)”. Trujillo, Perú. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/296-sensor-de-proximidad-capacitivo-ljc18a3-h-zbx-npn-no.html> [Ultimo acceso: febrero 2022]

[24] Micro JPM. “LJC18A3-B-Z/BX 3-wire 10mm Capacitive Proximity Sensor Switch NPN DC NO 300mA.”. Cartago, Costa Rica. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.microjpm.com/products/ljc18a3-b-z-bx-3-wire-10mm-capacitive-proximity-sensor-switch-npn-dc-no-300ma/> [Ultimo acceso: febrero 2022]

[25] Naylamp Mechatronics. “MÓDULO RELAY 4CH 5VDC”. Trujillo, Perú. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/drivers/152-modulo-relay-4-canales-5vdc.html> [Ultimo acceso: febrero 2022]

[26] Profe Tolocka. “Módulo de 4 relés para Arduino”. Córdoba, Argentina. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.profetolocka.com.ar/2015/05/09/modulo-de-4-reles-para-arduino/> [Ultimo acceso: febrero 2022]

[27] Sparkfun Start Something. “Load Cell - 10kg, Straight Bar (TAL220)”. Colorado, Estados Unido. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.sparkfun.com/products/13329> [Ultimo acceso: febrero 2022]

[28] AV Electronics. “Sensor de Peso 10kg (Celda de Carga)”. Quito, Ecuador. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://avelectronics.cc/producto/sensor-de-peso-10kg/> [Ultimo acceso: febrero 2022]

- [29] AV Electronics. "Módulo HX711 para Sensor de Peso". Quito, Ecuador. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://avelectronics.cc/producto/modulo-hx711-para-sensor-de-peso/> [Ultimo acceso: febrero 2022]
- [30] Pololu. Robotics and Electronics. "131:1 Metal Gearmotor 37Dx57L mm 12V (Helical Pinion)". Las Vegas, Estados Unidos. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.pololu.com/product/4746> [Ultimo acceso: febrero 2022]
- [31] Pololu. Robotics and Electronics. "TB9051FTG Single Brushed DC Motor Driver Carrier". Las Vegas, Estados Unidos. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.pololu.com/product/2997> [Ultimo acceso: febrero 2022]
- [32] Camsco Electric CO.LTD. "Catalogo Pulsadores Camsco". Colombia. 2019.
- [33] Vishay. "20 x 4 Character LCD". LCD-020N004L. Julio, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.vishay.com/docs/37314/lcd020n004l.pdf> [Ultimo acceso: febrero 2022]
- [34] AV Electronics. "Display Alfanumerico LCD 2004". Quito, Ecuador. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/lcd-alfanumerico/158-display-lcd-2004-azul-backlight.html> [Ultimo acceso: febrero 2022]
- [35] AV Electronics. "Modulo Adaptador LCD a I2C". Quito, Ecuador. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/lcd-alfanumerico/60-modulo-adaptador-lcd-a-i2c.html> [Ultimo acceso: febrero 2022]
- [36] Arduino Oficial Store. "Arduino Mega". Productos. Estados Unidos. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3?selectedStore=us> [Ultimo acceso: febrero 2022]
- [37] Tecmikro. "Mega 2560 R3 para Arduino". Tarjetas Programables. Quito, Ecuador. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://tecmikro.com/tarjetas-programables/332-mega-2560-r3-para-arduino.html> [Ultimo acceso: febrero 2022]
- [38] M. Bellido. "Normas Básicas y Recomendaciones en el Diseño de PCBs". Octubre, 2021.
- [39] S. Nakov. "Fundamentals of computer programming with c#". Programming book. Sofia, Bulgaria. 2013.
- [40] P. Deitel, H. Deitel. "How to program with c#". Prentice hall. Sexta edicion. Estados Unidos. 2009.



[41] Arduino Oficial Site. “Función map”. Funciones. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/math/map/> [Ultimo acceso: marzo 2022]

[42] N. Babich. “8 Tips for Dark Theme Design”. Ux Planet. Julio, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://uxplanet.org/8-tips-for-dark-theme-design-8dfc2f8f7ab6> [Ultimo acceso: marzo 2022]

[43] M. Hawrylo. “ISA101, Human machine interfaces” Applying ISA101 concepts to existing HMI applications. Estados Unidos. 2015.

[44] Microsoft Oficial Site. “Try – catch C#”. C# Guide. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/language-reference/keywords/try-catch> [Ultimo acceso: marzo 2022]