



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
ELECTRÓNICO PARA MONITOREAR Y CONTROLAR EL  
PROCESO DE EMPACADO DE CAFÉ DE UNA MÁQUINA  
DOSIFICADORA DE POLVOS Y GRANULADOS.**

Br. Jesús Enrique Ruíz Montilva

Mérida, noviembre, 2022



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
ELECTRÓNICO PARA MONITOREAR Y CONTROLAR EL  
PROCESO DE EMPACADO DE CAFÉ DE UNA MÁQUINA  
DOSIFICADORA DE POLVOS Y GRANULADOS.**

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Electricista

Br. Jesús Enrique Ruíz Montilva  
Tutor: Prof. Arlex J. Cáliz A.  
Cotutor: Prof. Francisco J. Vilorio M.

Mérida, noviembre, 2022

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO  
PARA MONITOREAR Y CONTROLAR EL PROCESO DE  
EMPACADO DE CAFÉ DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA DE  
POLVOS Y GRANULADOS.**

Br. Jesús Enrique Ruíz Montilva

Trabajo de Grado, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos exigidos para optar al título de Ingeniero Electricista, aprobado en nombre de la Universidad de Los Andes por el siguiente Jurado.

---

Francisco J. Araujo R.

---

Francisco J. Vilorio M.

---

Prof. Arlex J. Cáliz A.

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mi maravillosa familia, especialmente a mis padres Rita Montilva y Sabino Ruíz, quienes han sido mi ejemplo a seguir, inculcándome los valores de superación, humildad y sacrificio, enseñándome a valorar todo lo que la vida me ha dado. A ellos les dedico el presente trabajo, porque han fomentado en mí, el deseo de superación a lo largo de mi vida, contribuyendo a la consecución de este logro.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a **MIS PADRES, RITA MONTILVA y SABINO RUIZ** por todo el sacrificio y esfuerzo que han puesto para convertirme en el ser humano profesional que soy hoy en día.

A **MI HERMANA YAMILIS**, que siempre estuvo a mi lado apoyándome y acompañándome en todo momento e impulsándome a lograr todas mis metas.

A **MIS HERMANAS LETIZIA Y SOFIA** que me han brindado todo su cariño y se convirtieron en una razón más para seguir adelante en mi camino.

A mi **AMIGO Y COMPAÑERO DANIEL MAHFOUD** que me brindó un gran apoyo académico en la realización de este trabajo de grado.

A mis **AMIGOS DE LA UNIVERSIDAD** que en su momento me prestaron su apoyo cuando más lo necesitaba y me daban el ánimo para continuar mis estudios, además de todos los momentos de felicidad que me brindaron durante este largo trayecto.

A **MIS TUTORES**, por brindarme la oportunidad y sobre todo gracias a su guía pude realizar este trabajo de grado. Eternamente agradecido por sus enseñanzas y consejos.

Por último, a la **ILUSTRE UNIVERSIDAD DE LOS ANDES**, por brindarme un lugar para mi crecimiento académico y personal, además de permitirme vivir una de las experiencias más extraordinarias de mi vida.

**Jesús Enrique Ruíz Montilva. Diseño e implementación de un sistema electrónico para monitorear y controlar el proceso de empaclado de café de una máquina dosificadora de polvos y granulados.** Universidad de los Andes. Tutor(es): Prof. Arlex J. Cáliz M., Prof. Francisco J Vilorio M. Noviembre – 2022.

## RESUMEN

En el presente trabajo se abordó el desarrollo de un prototipo de sistema para el control y monitoreo de la producción de café de una máquina dosificadora de polvos y granulados el cual se encarga de monitorear el proceso de pesado de café en empaques (proceso activado automáticamente al detectar el empaque) y controlar mediante una salida digital el dosificador que dispensa el producto. A su vez contabiliza la cantidad de empaques producidos y permite generar un registro de la producción por lotes almacenado en una memoria microSD, adicionalmente se implementa en el dispositivo un sistema de monitoreo remoto mediante comunicación Wi-Fi, el cual permite supervisar en tiempo real el estado del sistema y las variables involucradas en cada proceso. Para la interfaz de monitoreo remoto se diseñó una página web a la cual se puede acceder desde cualquier PC o dispositivo móvil inalámbrico conectado a la misma red que el sistema desarrollado. Mediante este sistema remoto también es posible solicitar y visualizar en pantalla el reporte diario de producción almacenado en la memoria microSD del sistema. Para el sistema de medición de peso se emplea una celda de carga con galga extensiométrica conectada al módulo HX711 que acondiciona y convierte en digital la señal generada por la celda para ser procesada por la unidad de control ESP-32. Para la visualización de los datos en forma local se emplea una pantalla LCD de 4 líneas por 20 columnas y para el control y navegación en la pantalla se utilizan 3 pulsadores.

**Descriptores:** Instrumentación, Arduino, comunicación websocket, microcontrolador.

# ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN.....	vi
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1 EL PROBLEMA.....	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.2.1 <i>Objetivo General</i> .....	4
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.4 METODOLOGIA.....	5
1.5 ALCANCES.....	6
1.6 LIMITACIONES.....	6
CAPITULO 2 MARCO TEORICO.....	7
2.1 ANTECEDENTES.....	7
2.2 SISTEMA.....	9
2.3 SISTEMAS DE CONTROL.....	9
2.4 AUTOMATIZACIÓN.....	10
2.5 DOSIFICADORES.....	10
2.6 TIPOS DE DOSIFICADORES.....	11
2.6.1 <i>Dosificador volumétrico</i> .....	11
2.6.2 <i>Dosificador a tornillo sin fin</i> .....	11
2.7 SENSORES DE PESO.....	12

2.7.1	<i>Peso</i> .....	12
2.8	SENSORES DE ULTRASONIDO .....	17
2.8.1	<i>Principio de funcionamiento</i> .....	18
2.9	CONVERSOR ANALÓGICO - DIGITAL .....	19
2.10	HARDWARE.....	20
2.11	MICROCONTROLADOR.....	21
2.11.1	<i>Partes de un microcontrolador</i> .....	22
2.12	TARJETA DE DESARROLLO ESP-32 DEVKIT 1 .....	23
2.12.1	<i>Especificaciones del ESP-32</i> .....	23
2.13	BUSES DE COMUNICACIÓN.....	26
2.13.1	<i>Bus UART</i> .....	28
2.13.2	<i>Bus SPI</i> .....	29
2.13.3	<i>Bus I2C</i> .....	31
2.14	TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA: WI-FI (IEEE 802.11) 32	
2.15	INTERNET .....	33
2.16	PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.....	33
2.16.1	<i>Protocolo de Internet (IP)</i> .....	33
2.16.2	<i>Protocolo De Control De Transmisión (TCP)</i> .....	34
2.16.3	<i>Protocolo HTTP</i> .....	34
2.16.4	<i>WebSocket</i> .....	35
2.17	SOFTWARE .....	35
2.17.1	<i>Arduino IDE</i> .....	36
2.17.2	<i>Lenguaje HTML</i> .....	36
2.17.3	<i>Lenguaje CSS</i> .....	37
2.17.4	<i>Lenguaje JavaScript</i> .....	37

CAPITULO 3	DISEÑO DEL HARDWARE DEL SISTEMA .....	38
3.1	UNIDAD DE CONTROL ESP-WROOM-32.....	39
3.2	UNIDAD DE MEDICIÓN DE PESO .....	40
3.2.1	<i>Celda de Carga</i> .....	40
3.2.2	<i>Circuito de Acondicionamiento de la Celda de Carga</i> .....	42
3.3	UNIDAD DE CONVERSIÓN DE NIVELES LÓGICOS (3.3V – 5V) .....	43
3.4	UNIDAD DE VISUALIZACIÓN LOCAL .....	44
3.5	UNIDAD DE TIEMPO (RTC).....	46
3.6	UNIDAD DE ALMACENAMIENTO Y REGISTRO DE DATOS .....	47
3.7	SENSOR DE ULTRASONIDO .....	48
3.8	ALARMA AUDITIVA .....	48
3.9	UNIDAD DE INTERFAZ INALAMBRICA (Wi-Fi) .....	49
3.10	CLIENTE .....	50
3.11	ESQUEMATICOS DEL SISTEMA ELECTRÓNICO COMPLETO.....	51
CAPITULO 4	DISEÑO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA ELECTRONICO PARA MONITOREO Y CONTROL DE PRODUCCION .....	53
4.1	SOFTWARE DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN.....	53
4.1.1	<i>Máquina de Estados del sistema</i> .....	53
4.1.2	<i>Funciones ejecutadas en los distintos procesos del sistema</i> .....	58
4.2	SOFTWARE DE FUNCIONAMIENTO DEL SERVIDOR WEB PARA MONITOREO REMOTO DEL SISTEMA .....	62
4.2.1	<i>Configuración de conexión inalámbrica Wi-Fi</i> .....	62
4.2.2	<i>Configuración del servidor web</i> .....	63
4.2.3	<i>Configuración de comunicación mediante Protocolo WebSocket</i> .....	64
4.2.4	<i>Diseño de la página Web</i> .....	66
4.2.5	<i>Funcionalidad dinámica de la página web mediante JavaScript</i> .....	67

4.2.6	<i>Procesos de intercambio de información entre servidor y el cliente.....</i>	68
CAPITULO 5	RESULTADOS.....	73
5.1	SENSOR DE PESADO.....	73
5.1.1	<i>Obtención del factor de calibración.....</i>	73
5.1.2	<i>Obtención de la curva de calibración.....</i>	74
5.1.3	<i>Comparación de los valores medidos vs. valores verdaderos.....</i>	77
5.2	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE PRODUCCION .....	77
5.3	FUNCIONAMIENTO DEL SERVIDOR WEB .....	80
5.3.1	<i>Conexión Wi-Fi.....</i>	80
5.3.2	<i>Funcionamiento de la Página Web.....</i>	80
5.3.3	<i>Monitoreo de los estados del sistema. ....</i>	81
5.3.4	<i>Solicitud del Reporte diario de Producción.....</i>	83
5.4	PROTOTIPO FÍSICO DEL SISTEMA .....	83
5.5	FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL SISTEMA DISEÑADO .....	85
	CONCLUSIONES.....	86
	RECOMENDACIONES .....	88
	REFERENCIAS	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura.	pp.
<i>Figura 2.1 Dosificador Volumétrico de productos Granulados. [11]</i> .....	11
<i>Figura 2.2 Dosificador con tornillo sin fin. [13]</i> .....	12
<i>Figura 2.3 Esquema de la balanza electromagnética. [14]</i> .....	14
<i>Figura 2.4 Esquema de esfuerzos en una galga Extensiométrica [14]</i> .....	14
<i>Figura 2.5 Configuración de puente de Wheastone de 4 galgas extensiométricas. [14]</i> .....	16
<i>Figura 2.6 Célula de carga Hidráulica. [14]</i> .....	17
<i>Figura 2.7 Disposición Básica del transmisor/receptor ultrasónico. [16]</i> .....	18
<i>Figura 2.8 Máxima linealidad de una conversión Analógica – Digital. [17]</i> .....	20
<i>Figura 2.9 Diagrama de Bloques de un microcontrolador. [21]</i> .....	21
<i>Figura 2.10 Diagrama de bloques funcionales del ESP32.</i> .....	24
<i>Figura 2.11 Esquema de Placa de desarrollo ESP32 DEVKIT V1. [23]</i> .....	25
<i>Figura 2.12 Transmisión síncrona. [26]</i> .....	27
<i>Figura 2.13 Transmisión Asíncrona. [26]</i> .....	28
<i>Figura 2.14 Estructura de Datos de la Comunicación UART. [27]</i> .....	29
<i>Figura 2.15 Estructura de Comunicación del Bus SPI. [27]</i> .....	30
<i>Figura 2.16 Operación de Lectura/Escritura y esquema de conexión del Bus I2C. [27]</i> .....	32
<i>Figura 3.1 Diagrama Estructural del Sistema Electrónico.</i> .....	38
<i>Figura 3.2 Esquema de la Unidad de Control de la ESP-32.</i> .....	40
<i>Figura 3.3 a) Celda de carga de tipo Viga b) esquemático de Proteus de la celda de carga.</i> .	41
<i>Figura 3.4 Tabla de especificaciones de la celda de carga TAL220. [42]</i> .....	41
<i>Figura 3.5 Esquema de conexión del modulo HX711. [43]</i> .....	42
<i>Figura 3.6 Esquemático de Proteus del Módulo HX711</i> .....	43
<i>Figura 3.7 Esquema de conexión de lo conversores de nivel Lógicos</i> .....	44
<i>Figura 3.8 Esquema de conexión del expansor I2C y la pantalla LCD 20X4</i> .....	45
<i>Figura 3.9 Principales pantallas que se visualizan en el sistema</i> .....	46
<i>Figura 3.10 Esquemático del módulo RTC</i> .....	47
<i>Figura 3.11 Esquemático Modulo MicroSD</i> .....	47
<i>Figura 3.12 Formato de guardado del registro en la microSD.</i> .....	48

<i>Figura 3.13 Esquemático de un Zumbador (Buzzer).</i> .....	49
<i>Figura 3.14 Esquema de comunicación entre Esp-32 y clientes [45].</i> .....	50
<i>Figura 3.15 Dispositivos en modo cliente para la conexión inalámbrica con el sistema electrónico mediante una página Web. [46]</i> .....	51
<i>Figura 3.16 Esquemático de tarjeta del Sistema Electrónico.</i> .....	52
<i>Figura 4.1 Diagrama de estados del sistema electrónico Para monitoreo y control de Producción.</i> .....	54
<i>Figura 4.2 Pantalla del menú del sistema de monitoreo y control.</i> .....	55
<i>Figura 4.3 Diagrama de flujo de la función Tara.</i> .....	58
<i>Figura 4.4 Diagrama de flujo del Proceso de calibración.</i> .....	59
<i>Figura 4.5 Diagrama de Flujo de la función detección</i> .....	60
<i>Figura 4.6 Diagrama de flujo del proceso de Pesado</i> .....	60
<i>Figura 4.7 Diagrama de Flujo de Reporte Diario.</i> .....	62
<i>Figura 4.8 Diagrama de Secuencia de Red de la comunicación por WebSocket.</i> .....	65
<i>Figura 4.9 Diagrama de flujo de la función obtener_estado</i> .....	68
<i>Figura 4.10 Diagrama de flujo de la función ProcessRequest</i> .....	69
<i>Figura 4.11 Diagrama de flujo de la función enviar_estado</i> .....	69
<i>Figura 4.12 Diagrama de flujo d la función processData</i> .....	70
<i>Figura 4.13 Diagrama de flujo de la función obt_parámetros</i> .....	70
<i>Figura 4.14 Diagrama de flujo de la función ejecutar_Reporte.</i> .....	72
<i>Figura 5.1 Pesos de calibración.</i> .....	73
<i>Figura 5.2 Curva de histéresis de la celda de carga para la medición de Peso.</i> .....	76
<i>Figura 5.3 Proceso de pesado para empaques de 100 gr.</i> .....	78
<i>Figura 5.4 Proceso de pesado para empaques de 200 gr.</i> .....	78
<i>Figura 5.5 Proceso de pesado para empaques de 500 gr.</i> .....	78
<i>Figura 5.6 Proceso de pesado para empaques de 1000 gr.</i> .....	79
<i>Figura 5.7 a) Inicio del proceso de conexión Wi-Fi b) Resultado del proceso de conexión Wi-Fi mostrando la dirección IP asignada.</i> .....	80
<i>Figura 5.8 Funcionamiento de la página web implementada para el monitoreo del sistema.</i> ..	81
<i>Figura 5.9 (a) Estado de BALANZA, (b) Estado COMPROBAR, (c) Estado SELECCIÓN, (d) Estado de PESADO, (e) Estado de REGISTRO y (f) Estado de GUARDADO.</i> .....	82

*Figura 5.10 Reporte diario de producción generado en el sitio Web del sistema..... 83*  
*Figura 5.11 Prototipo Físico del diseño del Sistema para Monitoreo y Control de la  
producción de Café..... 84*

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla.	pp.
<i>Tabla 2.1 Especificaciones del módulo el ESP32-WROOM-32. [22].....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 3.1 Parámetros de interés del Módulo HX711. [43] .....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 3.2 Características Técnicas del Sensor HC-SR04 [44].....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 4.1 Variables a enviar al cliente en unción del estado actual del sistema .....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 5.1 Escalas obtenidas para diferentes pesos de calibración .....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 5.2 Resultados de medición de peso en ascenso y descenso. ....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 5.3 Comparación de valores medidos vs. Valores verdaderos obtenidos de la curva de calibración.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 5.4 Proceso de producción de Empaques de 100, 200, 500 y 1000 gr. ....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 5.5 Costos de los componentes empleados para fabricar el sistema electrónico.....</i>	<i>85</i>

# INTRODUCCION

En la actualidad los procesos de empaqueo de polvos y granulados representa una parte importante en el comercio nacional. Cada vez son más, los pequeños y medianos comerciantes o productores quienes deciden realizar un proceso de empaqueo de sus productos que en la mayoría de los casos se realiza de forma completamente manual lo que deriva generalmente en una producción deficiente y con un bajo rendimiento. Un caso particular es el de los pequeños productores de café en el estado Mérida que están teniendo la necesidad de pasar de esta modalidad manual de producción a un sistema más eficiente, Es por ello que entra a jugar un papel fundamental la automatización en los procesos de producción para solucionar los problemas antes planteados.

Dentro de los procesos de producción son primordiales los sistemas de medición para cuantificar las variables involucradas en estos, contribuyendo a generar avances en la automatización industrial. No obstante, incorporar la automatización en los procesos de empaqueo deriva generalmente en altos costos de inversión, y habiendo adquirido la infraestructura necesaria, se generan además altos costos de mantenimiento. Surge entonces la necesidad de diseñar el prototipo de un sistema electrónico para la automatización del proceso de dosificación que permita el control y monitoreo del proceso de empaqueo de café que sea factible técnica y económicamente.

El presente trabajo de grado se desarrolla en cinco (5) capítulos que se describen a continuación:

En el capítulo uno (1) se abordan los objetivos para dar solución al problema planteado, la justificación, los alcances y limitaciones definidos en este proyecto.

El capítulo dos (2) presenta las bases teóricas en las que se fundamenta la investigación describiendo conceptos básicos sobre tipos de dosificadores en el proceso de empaado, sensores para medición de peso, dispositivos programables y de adquisición de datos, tecnologías de comunicación y lenguajes de programación.

En el capítulo tres (3) se establece el diseño del hardware para la fabricación del prototipo del sistema electrónico de control y monitoreo para la producción de café, especificando las etapas que lo componen: sensores, actuadores, circuitos de acondicionamiento, pantalla, microcontrolador, módulos.

En el capítulo cuatro (4) se presenta el diseño del software del sistema electrónico el cual se divide en dos partes: software de funcionamiento del sistema de producción y software de funcionamiento del servidor web para monitoreo remoto del sistema.

En el capítulo cinco (5) se muestran los resultados obtenidos durante el desarrollo del presente trabajo especial de grado, funcionamiento del hardware, interfaz web y factibilidad económica del prototipo diseñado.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# CAPITULO 1

## EL PROBLEMA

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A lo largo de los últimos años la industria ha desarrollado nuevas tecnologías para mejorar y agilizar todos sus procesos de producción. Dentro de estos, los sistemas de medición han sido claves en el avance y optimización de la industria y el comercio a nivel mundial permitiendo reducir los tiempos de operación y obtener mejores resultados. A su vez estos sistemas de medición han conseguido ser más rápidos y exactos con respecto a viejos sistemas analógicos gracias a la incorporación de los sistemas digitales que facilitan sustancialmente la operación de estos procesos.

En el ámbito comercial e industrial cada día se hace más común automatizar los procesos mediante la electrónica digital la cual se convierte en una necesidad en términos de productividad y competitividad. Normalmente las grandes empresas ya incorporan un sistema completamente automatizado para su respectiva producción, sin embargo, estos sistemas resultan en altos costos de adquisición y de mantenimiento, lo que implica que empresas más pequeñas y con menor capacidad de inversión no puedan adquirir este tipo de tecnología generando un estancamiento en su crecimiento y producción.

En el caso de Venezuela, específicamente en el municipio Tovar del estado Mérida, este es un tema muy importante ya que en los últimos años han surgido nuevos emprendimientos que se dedican a la producción y empaqueo de polvos y granulados como es el caso del café, que si bien es un rubro donde se pueden conseguir industrias grandes, la cantidad de pequeños productores y comerciantes es considerable y estos aplican un manejo completamente manual en su proceso de dosificación, empaqueo y registro de producción.

En este sentido, la simplificación por medio de un sistema de monitoreo y control en los procesos de producción como es el caso de la dosificación y empaçado de café es clave, ya que al ser un rubro que se comercializa según su peso, hacer este proceso de forma manual retarda sustancialmente los tiempos de operación e incluso se generan errores en el momento de cuantificar el producto que pueden resultar significativos dando como resultado pérdidas económicas. No contar con automatización en el proceso de producción impide conocer la verdadera rentabilidad de la producción debido a la dificultad de llevar un inventario preciso además de un control de ventas que permita conocer realmente los ingresos y las ganancias de la empresa. Sin estos sistemas, generar un aumento en la producción y crecimiento económico se hace bastante difícil.

Por lo anteriormente expuesto surge la siguiente interrogante:

¿Será factible técnica y económicamente el diseño de un sistema electrónico para la automatización del proceso de dosificación que permita llevar el control, inventario y registro de ventas en el empaçado de café?

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

Diseñar un prototipo electrónico para la automatización del proceso de dosificación que permita el control y monitoreo del empaçado de café.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Revisar la documentación adecuada acerca de los tipos de sensores existentes para la medición de peso, almacenamiento y transmisión de datos.
- Diseñar un sistema para lectura del peso del café mediante un sensor de medición de peso.
- Diseñar un programa en un módulo ESP-32 que permita obtener los gramos de café y generar el registro de empaçado.
- Realizar una interfaz de usuario que permita el acceso al registro de información del empaçado de café a través de una conexión inalámbrica con el dispositivo.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Con el pasar de los años los sistemas digitales se han hecho cada vez más aplicables para el desarrollo y enfoque de la tecnología, es por ello que la digitalización de los sistemas de medición de cualquier tipo de variable física ha sido aplicada para facilitar a los usuarios el procesamiento, la interpretación y la visualización de los datos que se obtienen de forma analógica. Esta investigación, analiza la importancia de desarrollar un prototipo electrónico que permita monitorear el pesaje del café dispensado y llevar un registro del empaqueo diario que permita al productor tener un control sobre la entrada y salida del producto.

Un sistema con estas características permite al operador optimizar la tarea de empaquetar el producto, mejorando el tiempo del proceso y la precisión del empaqueo, así como tener un mejor control sobre la cantidad de los paquetes de café que se procesan según sus diferentes presentaciones. Si bien es cierto, que esta propuesta nace de la necesidad observada por los pequeños y medianos productores de café del municipio Tovar también es extensible a productores de otros rubros que se procesan y comercializan de la misma manera.

Desde el punto de vista tecnológico, este diseño sería un producto novedoso a nivel nacional, competitivo con la industria extranjera que beneficia en gran medida a los pequeños y medianos productores de café, así como productores de rubros similares que se comercializan según su peso. De igual manera al diseñar un sistema de bajo costo, desde el punto de vista económico este prototipo podría ser factible porque permite a los productores su fácil acceso.

### **1.4 METODOLOGIA**

El presente trabajo se enmarca en la metodología de Trabajo de proyecto Factible con los cual estos estudios “sustentados en un modelo operativo, de una unidad de acción, están orientados a proporcionar respuestas o soluciones a problemas planteados en una determinada realidad” [1].

A su vez “la finalidad del proyecto factible radica en el diseño de una propuesta de acción dirigida a resolver un problema o necesidad previamente detectada en el medio” [2].

De lo antes mencionado se puede señalar que la investigación es un proyecto de tipo factible ya que consiste en elaborar un diseño electrónico que permita el control y monitoreo de la

producción de café en una maquina dosificadora de polvos y granulados atendiendo a la necesidad de los productores y comerciantes de automatizar el proceso lo cual mejorará la productividad y el rendimiento de su actividad económica.

### **1.5 ALCANCES**

El alcance del presente trabajo se centra en el diseño e implementación de un sistema electrónico para el monitoreo y control de la producción de café en una máquina dosificadora de polvos y granulados, además de una interfaz inalámbrica para la supervisión del funcionamiento de manera remota, lo cual permitirá agilizar el proceso de pesado y empaclado del café.

### **1.6 LIMITACIONES**

Para este proyecto se plantea diseñar solo el sistema electrónico de monitoreo y control con su sistema de pesado y la interfaz inalámbrica. La integración a la máquina dosificadora escapa de los objetivos ya que no se dispone de ella actualmente.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## **CAPITULO 2**

### **MARCO TEORICO**

En este capítulo se presentan los antecedentes de la investigación relacionados a la automatización de máquinas dosificadoras de producción, así como las bases teóricas que se requieren para diseñar el sistema electrónico que permitan el control y monitoreo de la producción de café en una máquina dosificadora.

#### **2.1 ANTECEDENTES**

A continuación, se presentan algunos precedentes relacionados con la investigación y que son de relevancia para el desarrollo desde trabajo.

K. Karzosa (2017). presentó el trabajo de Grado titulado: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA DOSIFICADORA AUTOMÁTICA DE GRANOS SECOS** el cual es un sistema de dosificación volumétrico que consta de vasos telescópicos de 500 gr. construyendo un prototipo a escala con el cual validaron el diseño mediante pruebas de dosificación, tiempos de operación, simulación de software y empaçado del producto [3]. En este estudio se diseñó un sistema de dosificación cuyo patrón de medición se hace por volumen correspondiente al peso de cada producto, un diseño orientado al empaçado de granos secos, con la posibilidad de empaçar 4 tipos de granos al mismo tiempo, mediante estaciones con tolvas independientes. Este proyecto incorpora el uso de sensores para detección de empaques, detección del producto, mecanismos motrices, indicadores y alertas que permiten el control total de la operación de principio a fin de manera exitosa. A su vez todo el sistema diseñado se controla mediante la lógica computacional de un microcontrolador Atmega 2560 que permite la automatización total del proceso de una manera sencilla y eficiente.

L. Puchi, J. Villasmil y J. Villasmil (2018). Proyecto titulado: **SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL EMPACADO Y DESPACHO DE PRODUCTOS EN GRANOS Y GRANULADOS** cuya investigación se centró en diseñar un sistema automatizado para el empacado de productos como granulados y granos mediante un análisis operacional que permitiera la detección de la problemática y posteriormente su solución [4]. El proyecto mencionado consiste inicialmente en la recolección de datos acerca del problema planteado sobre la ineficiencia de los procesos de empacado manual de distintos comercios en la ciudad de Maracaibo, Edo. Zulia, Venezuela, comenzando con una entrevista no estructurada. Una vez definido el problema se procede a subdividirlo para darle solución mediante un desarrollo de 4 etapas: control, almacenaje, despacho de granos y granulados y empacado y sellado. Para el diseño final utilizaron como plataforma de desarrollo una placa Arduino Mega integrada con sensores ultrasónicos para la medición de niveles en el almacenamiento, motores DC y sensores infrarrojos en la etapa de empacado y sensores para el monitoreo y control de temperatura en el proceso de sellado. Adicionalmente crearon un manual de instrucciones y mantenimiento del sistema de empacado. Cabe destacar que este proyecto fue pensado y diseñado como una alternativa de bajo costo frente a las soluciones tradicionales que se encuentran en el mercado.

E. Casa (2019). Proyecto: **DISEÑO DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA DOSIFICADORA POR PESO PARA PRODUCTOS SECOS CON VOLÚMENES IRREGULARES** en el cual se presenta un diseño de una maquina dosificadora de productos secos granulares cuya característica principal es que puedan fluir libremente sin aglomeración además de tener distintas formas y tamaños no superiores a los 1000 milímetros cúbicos [5]. En este trabajo el autor planteó un diseño en función de la necesidad de poder empacar distintos tipos de granos independientemente de su geometría. Para ello diseña una tolva de almacenamiento de 50 Kg. Conectada a un canal de transporte en el que se aplica vibración para que el producto a empacar fluya libremente, un recipiente acondicionado mide el peso del producto a través de una celda de carga para luego ser dispensado a través de dos compuertas al final del proceso para regular el dispensado. Para el control del proceso utilizó un controlador atmega 644p. el autor creo una implementación virtual utilizando un software DEM (Método de elementos discretos) con el cual evaluó su comportamiento y funcionalidad durante su operación.

B. Parra (2021). Proyecto titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA DOSIFICADORA DE CONDIMENTOS PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LA COMPAÑÍA TRÉBOL ROJO S.A.S.** que consiste en el diseño e implementación de una maquina semiautomática de dosificación volumétrica para diferentes tipos de condimento el polvo conformado por una tolva de alimentación manual de 30 kg de capacidad, 3 contenedores telescópicos con pesos equivalentes a 1 libra o media libra según sea el caso montado sobre un disco rotatorio. La máquina se acciona mediante control ON/OFF y control de seguridad para paradas de emergencia [6]. Esta investigación destaca por un estudio exhaustivo de los sistemas de dosificación más comunes en la industria, además que fue especialmente diseñado para la operación de la compañía Trébol Rojo S.A.S lo que permitió una adecuación total en función de las necesidades específicas de la empresa, otro rasgo importante es que incorpora un funcionamiento semiautomático permitiendo al operador un control parcial de la producción.

## 2.2 SISTEMA

Bertoglio establece que “Un sistema es un grupo de partes y objetos que interactúan y que forman un todo o que se encuentran bajo la influencia de fuerzas en alguna relación definida” [7]. Otra definición más concreta plantea que “Un sistema es una combinación de componentes que actúan conjuntamente, con un determinado objetivo a cumplir” [8]. En base a lo expuesto anteriormente un sistema se puede definir como un conjunto de variables y dispositivos que interactúan entre sí para monitorear y ejecutar determinadas acciones en función realizar determinadas tareas.

## 2.3 SISTEMAS DE CONTROL

Dentro de los diferentes tipos de sistemas que existen para el desarrollo de este proyecto concierne uno en particular que es el sistema de control. Se define como sistema de control a un arreglo de componentes físicos que están conectados entre sí en función de poder dirigir, comandar o regular asimismo u otros sistemas en cuestión, a su vez estos sistemas se dirigen o controlan de forma dinámica [8].

Los sistemas de control son sistemas capaces de monitorear y gestionar determinadas tareas, incluso en otros sistemas mediante el uso de variables manipuladas que son las entradas del sistema, a fin de controlar las variables de salida.

## **2.4 AUTOMATIZACIÓN**

A lo largo de la historia, la industria ha evolucionado constantemente a tal punto de requerir cada vez menos intervención humana, con el fin de optimizar los procesos y la producción, y el protagonismo de esta evolución ha venido dada por lo que se conoce como automatización que se puede definir como “el conjunto de elementos o procesos informáticos, mecánicos y electromecánicos que operan con mínima o nula intervención del ser humano” [9].

La automatización juega un papel fundamental en la industria ya que al poder ser integrada en los sistemas de control se reduce significativamente la necesidad mental y sensorial del operador permitiendo la ejecución de procesos de manera autónoma lo que se traduce en mayor eficiencia, precisión y menores tiempos de ejecución de las tareas requeridas a su vez que minimizan los riesgos de quien opera el proceso. Es aquí donde radica la importancia de la automatización de los procesos industriales ya que estos mejoran sustancialmente consiguiendo así los resultados esperados.

## **2.5 DOSIFICADORES**

Los dosificadores son aparatos utilizados para administrar dosis específicas de un determinado producto a fin de evitar desperdicios en el proceso, cumplen la función de suministrar de forma rápida la cantidad exacta de insumo o material dentro del funcionamiento de un sistema [10].

Los dosificadores son parte fundamental en el empaqueo de la industria debido a la eficiencia en los procesos permitiendo la reducción en los tiempos de operación, así como la precisión en el llenado, lo que se traduce en la disminución de pérdidas económicas.

## 2.6 TIPOS DE DOSIFICADORES

En la industria existen diferentes tipos de dosificadores de acuerdo al tipo de producto a envasar. En este trabajo se tratarán dos tipos que son adecuados para la producción de polvos y granulados.

### 2.6.1 Dosificador volumétrico

El dosificador Volumétrico consta de una tolva para almacenar el producto a envasar y una cantidad de vasos telescópicos con un volumen específico según la cantidad de la presentación del empaque los cuales suministrarán el producto (ver Figura 2.1). La cantidad de vasos estará determinada según el tipo de producto a empacar y su cantidad. Este tipo de dosificador está orientado a productos homogéneos de naturaleza sólida como es el caso de los granos [12]. Estos sistemas son adecuados para la producción de grandes volúmenes de empaquetado ya que facilitan el llenado de varios envases al instante sin embargo están limitados a empacar productos con volúmenes predeterminados lo que en algunos casos dificulta la expansión de la variedad en términos de presentaciones.

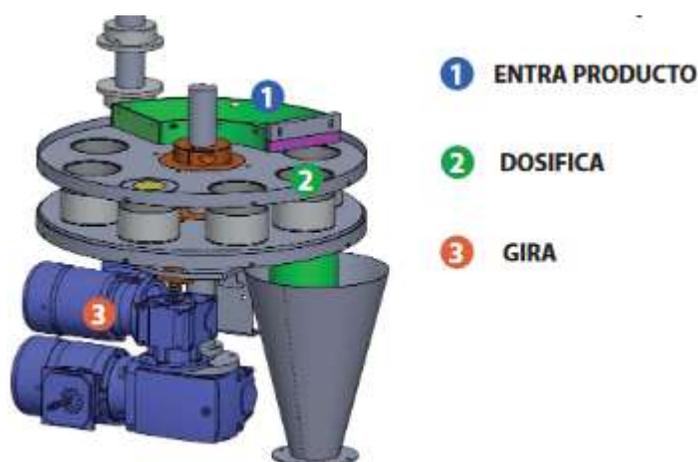


Figura 2.1 Dosificador Volumétrico de productos Granulados. [11]

### 2.6.2 Dosificador a tornillo sin fin

Al igual que el dosificador volumétrico este también se consta de una tolva de almacenamiento pero que al interior de la misma se encuentra un tornillo sin fin dirigido por

la envasadora (Ver Figura 2.2). Dependiendo del producto a envasar y su gramaje se adaptará el número de vueltas que el tornillo girará. Este tipo de dosificador está indicado especialmente para productos en polvo [12]. Por su naturaleza este tipo de dosificador es adecuado cuando se tiene un amplio espectro de presentaciones, ya que permite la precisión de la dosis a través de un sensor peso según la presentación deseada, a su vez que el tornillo sin fin elimina el problema de compactación que se genera en casi todo tipo de productos en polvo.

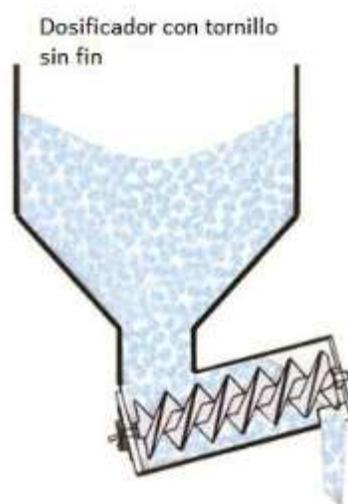


Figura 2.2 Dosificador con tornillo sin fin. [13]

## 2.7 SENSORES DE PESO

### 2.7.1 Peso

El peso se define como la fuerza de atracción que genera la tierra sobre un determinado cuerpo. la ecuación (2.1) establece la relación entre la masa del cuerpo y su peso:

$$P = m * g \quad (2.1)$$

Donde:

- P: es el peso del cuerpo
- m: es la masa del cuerpo a pesar
- g: es la aceleración de la gravedad

Al ser la masa constante y la aceleración de gravedad varia respecto al lugar además de la altura, en consecuencia, el peso del cuerpo también variará [14].

El hecho de que el peso pueda cambiar con la altura y el lugar donde se haga la medición podría resultar en un problema, sin embargo, todos los instrumentos conocidos para la medición de peso utilizan pesos patrones bien sea para hacer la comparación directa o para calibración, lo que implica que la lectura será independiente sin importar el lugar o a la altura en que se encuentre el cuerpo ya que estos pesos patrón experimentan la misma fuerza gravitacional por lo cual la aceleración de gravedad deja de ser un factor influyente en la medición.

La medición de peso consigue utilidad en la industria en la cuantificación de sustancias a efectos de las operaciones de inventario de materias primas, mezcla de ingredientes o productos finales.

Existen varios métodos de medición de peso, pero a efectos de lo que concierne a la automatización se estudiarán 3:

- **Balanza Electromagnética:** esta se compone de un sensor de posición junto a una bobinada de para que se colocan en un servosistema el cual equilibra el peso a medir con un peso patrón. Una señal eléctrica generada por un controlador que genera una corrección de desplazamiento producida por el peso, crea un campo magnético que equilibra la atracción del imán [14].

Del electroimán Midiendo la corriente que circula por la bobina un microprocesador mediante análisis estadísticos con cálculo de media y desviación estándar de las pesadas puede generar un cálculo preciso del peso y además este sistema permite un proceso de tara automática. la Figura 2.3 muestra el esquema de una Balanza electromagnética.

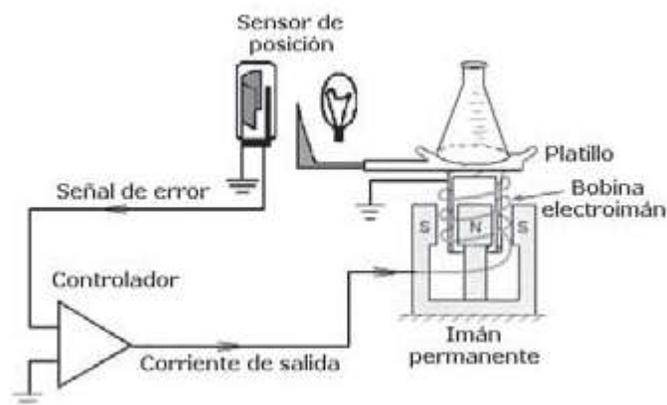


Figura 2.3 Esquema de la balanza electromagnética. [14]

- **Celdas de carga por galga extensiométrica:** las galgas extensiométricas son dispositivos del tipo de transductores pasivos, delgados del grosor de una oblea que se fija en una variedad de materiales cuya finalidad es medir los esfuerzos aplicados sobre estos. Generalmente estas son fabricadas con alambres de diámetros finos hechos de aleaciones de metales como el Constantán. La resistencia del alambre cambia con su longitud conforme se le aplican fuerzas de tracción o compresión al material soporte de la galga [15]. La Figura 2.4 muestra el esquema de una galga extensiométrica, los tipos de esfuerzos que se pueden generar sobre ella y su variación en la resistencia.

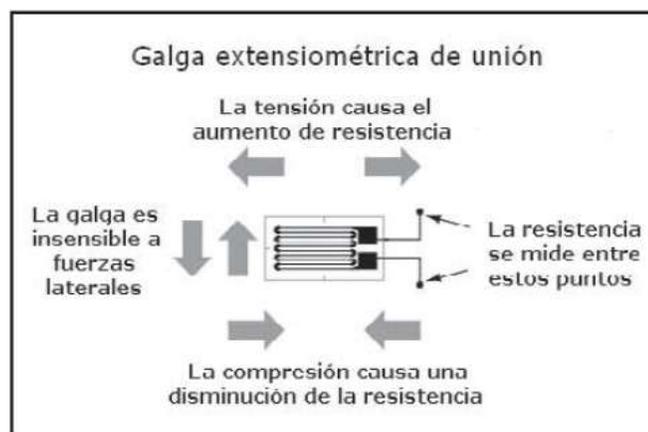


Figura 2.4 Esquema de esfuerzos en una galga Extensiométrica [14]

En las galgas la variación de la longitud genera una variación en la resistencia que se aprovecha para medir el esfuerzo producido en el material soporte siendo proporcional.

La resistencia eléctrica de un material está determinada por la ecuación ((2.2)):

$$R = \rho * \frac{l_0}{A_0} = \frac{l_0 + \Delta l}{A_0 + \Delta A} \quad (2.2)$$

Donde:

$R$  es la resistencia del alambre o hilo de la galga

$\rho$  es la resistividad del material

$l_0$  es la longitud inicial del alambre sin tensión

$A_0$  es el área de la sección transversal inicial del hilo

$\Delta l$  es el incremento de la longitud

$\Delta A$  es el incremento del área de la sección transversal del hilo

Siendo el volumen del hilo constante antes o después de aplicar tensión resulta:

$$V_0 = l_0 * A_0 = (l_0 + \Delta l) * (A_0 - \Delta A) \quad (2.3)$$

La ecuación ((2.3)) indica que al mantenerse el volumen constante conforme la longitud aumenta el área debe disminuir.

Finalmente, la ecuación de la resistencia queda:

$$R = \rho * \frac{l_0}{A_0} = 1 + 2 \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.4)$$

Por lo que el cambio en la resistencia resulta en:

$$\Delta R \approx 2R_0 \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.5)$$

El dato más importante en una galga extensiométrica es el llamado factor de galga ( $GF$ ) presentado en la ecuación ((2.6)):

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} \quad (2.6)$$

Este factor indica la relación existente en el cambio de la resistencia respecto al cambio de la longitud. En los metales este factor se aproxima a 2.

La temperatura influye significativamente en la temperatura, más concretamente para un cambio de 1°C sucede en función de la ecuación ((2.7)):

$$\Delta R_t = R_0 * \alpha * \Delta t \quad (2.7)$$

Siendo

$\alpha$  el coeficiente térmico de resistividad

$\Delta t$  la variación de temperatura

Debido a los efectos de la temperatura y al hecho de que los cambios en la resistencia son imperceptibles para los instrumentos se hace necesario utilizar acondicionadores de señal como los puentes de Wheastone “que captan pequeños cambios en la resistencia y compensan los efectos de la temperatura”.

La Figura 2.5 representa una configuración de puente completo con cuatro galgas extensiométricas.

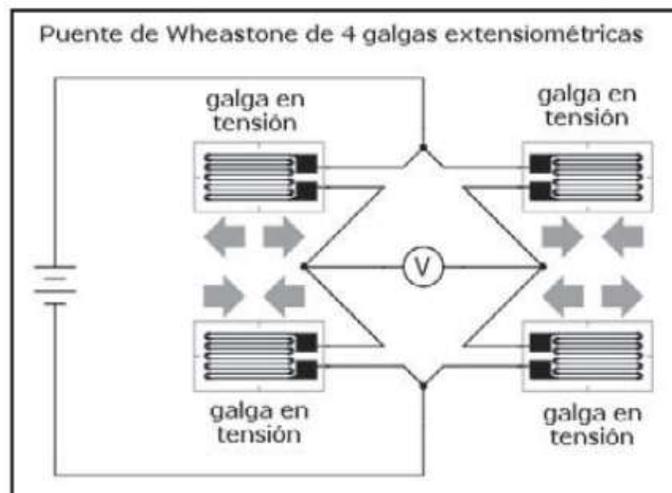


Figura 2.5 Configuración de puente de Wheastone de 4 galgas extensiométricas. [14]

El puente de Wheastone permite detectar los pequeños cambios de resistencia mediante el cambio de tensión medido en dos de sus extremos. La configuración de

4 galgas permite la compensación por cambio de temperatura para obtener una lectura precisa.

- **Células de carga hidráulica:** consisten en un pistón sobre el que se apoya la carga, que ejerce una presión sobre un fluido hidráulico. Según la carga, y de acuerdo con el área conocida del pistón, se crea una presión en el aceite que puede leerse en un manómetro Bourdon y que, por lo tanto, refleja indirectamente la carga [14].

La Figura 2.6 Célula de carga Hidráulica. muestra el esquema de una típica célula hidráulica:

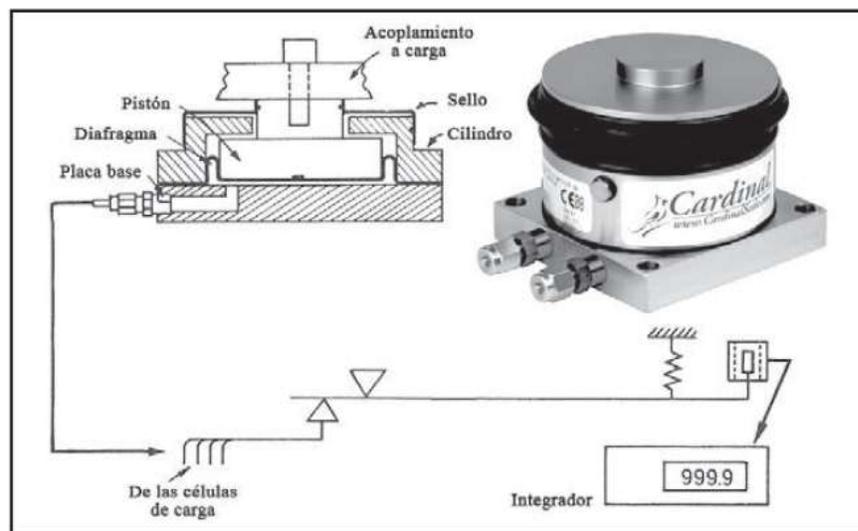


Figura 2.6 Célula de carga Hidráulica. [14]

las células de carga hidráulicas son generalmente fabricadas para medición de grandes cargas en la industria, en un rango de capacidad desde 1200 kg a 4500 Tm, pueden soportar alrededor de 40% de sobrecarga, y un tiempo de respuesta rápido de alrededor de los 2 segundos [14].

## 2.8 SENSORES DE ULTRASONIDO

El término ultrasónico se refiere a las frecuencias de audio que están más allá del rango de la audición humana (20 kHz). Los sensores ultrasónicos son dispositivos que utilizan estas frecuencias para la detección de presencia y/o para calcular la distancia a un objeto remoto [16].

Los sensores ultrasónicos son comúnmente utilizados en la industria por su versatilidad y eficiencia en diferentes procesos de producción ya que representan una solución práctica en la detección de objetos claros frente a los sensores fotoeléctricos debido a que su funcionamiento es inherente al material con el que se trabaje.

### 2.8.1 Principio de funcionamiento

En el sensor ultrasónico existen dos partes fundamentales que son el transmisor y el receptor. El transmisor emite una serie de ondas de sonido que oscilan entre los 23 kHz y 40 kHz. Cuando estas rebotan en una determinada superficie son devueltas y recibidas por el receptor del sensor. Al contabilizar el tiempo transcurrido entre la transmisión y la recepción es posible mediante el conocimiento de la velocidad del sonido obtener la distancia a la que se encuentra el objeto en el cual rebotó [16].

En la Figura 2.7 Disposición Básica del transmisor/receptor ultrasónico. se puede apreciar la disposición básica de un sensor de ultrasonido común:

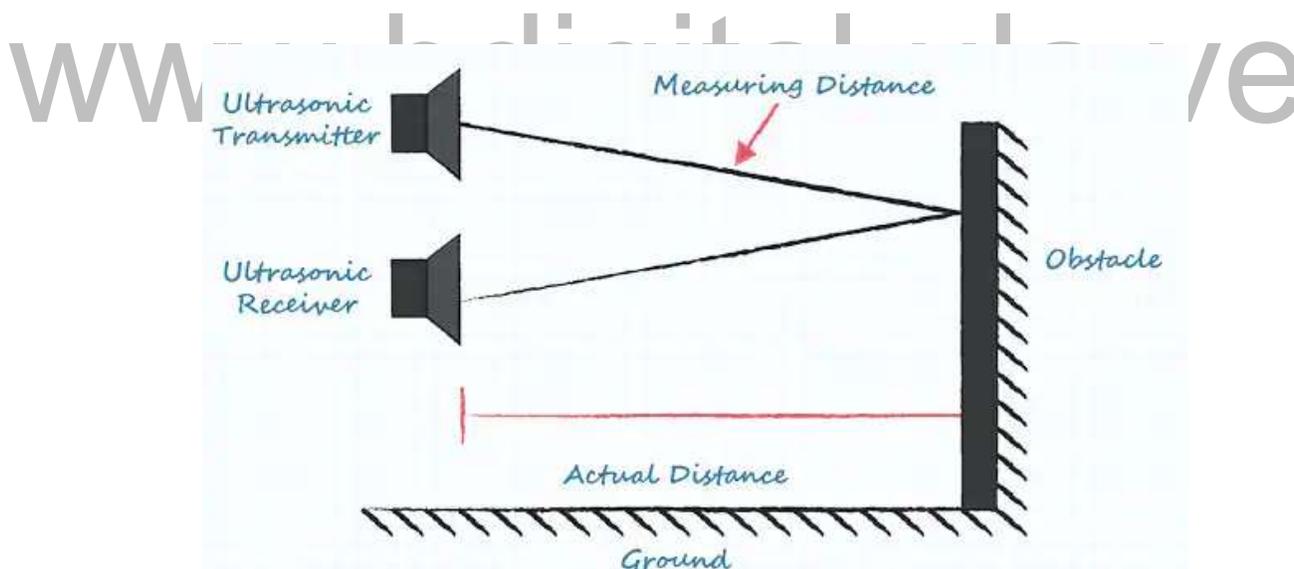


Figura 2.7 Disposición Básica del transmisor/receptor ultrasónico. [16]

La distancia que existe entre el sensor y el objeto en cuestión se puede obtener mediante la ecuación (2.8):

$$d = \frac{1}{2} * t * c \quad (2.8)$$

Donde:

$d$  es la distancia entre el sensor y el objeto.

$t$  es el tiempo transcurrido de la onda en salir y regresar al sensor.

$c$  es la velocidad del sonido (343 m/s a una temperatura de 20 °C).

Es importante resaltar que la velocidad del sonido varía en función de la temperatura y esta debe ser tomada en cuenta a la hora de realizar mediciones precisas.

## 2.9 CONVERTOR ANALÓGICO - DIGITAL

La conversión analógica – digital (ADC) es el proceso en el cual se cuantifica una señal analógica para ser representada por su equivalente en código binario [17]. Los dispositivos que ejecutan estos procesos son los llamados convertidores analógicos digitales.

En la industria y en los sistemas electrónicos en general se utilizan a menudo convertidores analógicos – digitales ya que frecuentemente se hace necesario el procesamiento de señales para su interpretación. en el campo de la automatización se utilizan distintos tipos de sensores encargados de captar variables físicas cuya medición es imprescindible en distintos procesos, pero generalmente estas se manifiestan mediante señales de tipo analógico que necesitan ser digitalizadas para ser procesadas por los sistemas de automatización y es ahí donde juega un papel fundamental el ADC.

Un convertidor ADC tiene las siguientes especificaciones a tomar en cuenta a la hora de escoger el más adecuado:

- **Tiempo de conversión:** el tiempo de conversión es el tiempo requerido para realizar una conversión de la señal de entrada. Este tiempo establece el límite de la frecuencia más alta de la señal que puede ser muestreada por el ADC sin que ocurra distorsión. El tiempo de conversión se define mediante la ecuación (2.9):

$$f_{MAX} = \frac{1}{2 * t_c} \quad (2.9)$$

Donde:

$f_{MAX}$  es la frecuencia máxima que se puede muestrear.

$t_c$  es el tiempo de conversión del ADC.

- **Resolución:** representa el valor de señal de entrada más pequeña para la cual el convertidor puede producir un código digital. Generalmente esta resolución se expresa en el número de bits del convertidor o como porcentaje del valor a plena escala del convertidor. Para calcular la resolución se utiliza la ecuación (2.10):

$$\text{Resolución} = \frac{\text{Señal a plena escala}}{2^n} \quad (2.10)$$

Donde:

n es el número de bits del convertidor

- **Exactitud:** la exactitud es el parámetro que relaciona la señal más pequeña que se puede medir con la medida en cuestión. Este parámetro está dado en porcentaje y describe que tan cerca está medición realizada del valor real. Ver ecuación (2.11)

$$\text{Exactitud} = \frac{V_{\text{exactitud}}}{V_{\text{señal}}} * 100\% \quad (2.11)$$

- **Linealidad:** se refiere a la desviación de los códigos de salida de la recta que se traza entre el cero y el valor de plena escala. La mejor linealidad se da con  $\pm 1/2\text{LSB}$  (bit menos significativo). Ver Figura 2.8 Máxima linealidad de una conversión Analógica – Digital.

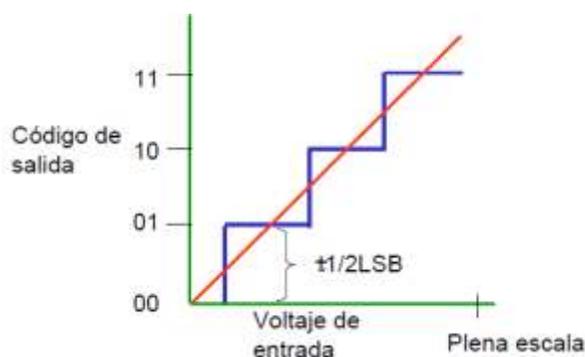


Figura 2.8 Máxima linealidad de una conversión Analógica – Digital. [17]

## 2.10 HARDWARE

Se entiende por Hardware, todos los elementos físicos o materiales que integran un equipo o sistema informático como es el caso de un computador, en otros términos, se refiere al

sistema que integra y opera el funcionamiento de los dispositivos electrónicos [18]. Si bien se hace referencia como hardware a las piezas internas que componen el sistema electrónico cabe resaltar que los periféricos externos como el caso de los dispositivos de entrada y salida son considerados hardware ya que estos también integran el entorno físico del equipo o sistema y son necesarios para su interacción con el mismo.

## 2.11 MICROCONTROLADOR

Se denomina microcontrolador a un circuito programable capaz de ejecutar una serie de instrucciones almacenadas en una memoria. Estos dispositivos están compuestos de varios bloques funcionales encargados de cumplir tareas específicas [19].

Con el desarrollo de la tecnología VLSI (muy alta escala de integración) producto del desarrollo de microprocesadores se permitió introducir todo un sistema mínimo de funcionamiento en un solo encapsulado. Con esto nace lo que se conoce hoy en día como microcontrolador, el cual es un sistema que incorpora una CPU (Unidad central de procesamiento), una memoria de programa, memoria para datos, el circuito de *reset* y el circuito oscilador, así como puertos de entrada y salida para su conexión con otros periféricos [20].

La Figura 2.9 presenta el diagrama de bloques típico de un microcontrolador:

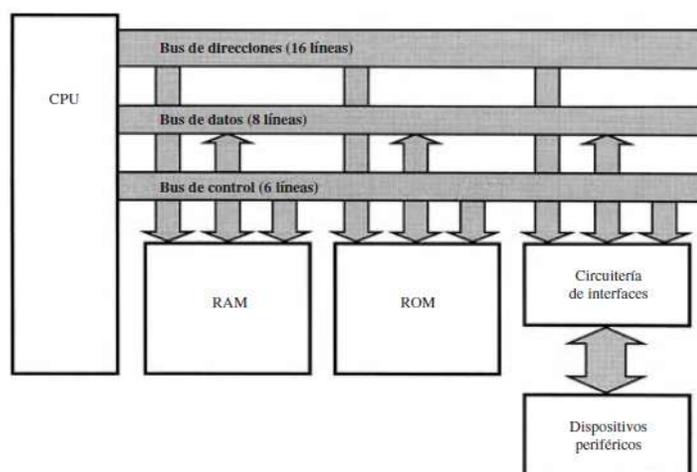


Figura 2.9 Diagrama de Bloques de un microcontrolador. [21]

### 2.11.1 Partes de un microcontrolador

- **CPU:** actúa como el cerebro de un sistema computacional y está encargado de administrar cada actividad que realiza el sistema llevando a cabo toda la operación sobre los datos. Internamente la CPU se compone de una unidad aritmético-lógica (ALU) encargada de realizar las operaciones matemáticas y lógicas básicas, la unidad de decodificación junto al control de instrucciones que determinan que operación realizar así como las acciones para ejecutarla, además incorpora dos registros adicionales: el registro de instrucciones (IR) que almacena el código binario de cada instrucción conforme se ejecuta y el llamado contador de programa (PC) encargado de almacenar la dirección de memoria de la siguiente instrucción a ejecutar.
- **Memoria RAM:** la memoria de acceso aleatorio (RAM) es una memoria volátil de lectura/escritura de cargar el programa y la variable para su ejecución para que la CPU tenga fácil acceso a esta. Al ser la RAM una memoria Volátil, toda la información contenida en ella desaparece con la interrupción de la energía.
- **Memoria de Programa:** la memoria de programa es la memoria de instrucciones en la cual se almacena el código de programa que ejecutará el procesador [19].
- **Buses:** los buses son colecciones de alambres utilizados para transferir información entre los circuitos que rodean la CPU. Dentro de un microcontrolador se pueden conseguir 3 tipos de buses: el bus de direcciones, el bus de datos y el bus de control. La CPU especifica la ubicación de los datos y coloca una dirección en el bus de direcciones y luego activa una señal en el bus de control para indicar si la operación es de lectura o escritura. Mediante estas operaciones entra en el juego el bus de datos encargado de intercambiar estos entre la CPU y la memoria [21].
- **Dispositivos de entrada/salida:** estos dispositivos son aquellos encargados de proveer una ruta de comunicación entre el microcontrolador y el mundo real. Los dispositivos de entrada salida se pueden dividir en tres clases: dispositivos de almacenamiento masivo que proveen al sistema de una expansión para el almacenamiento, los dispositivos de interfaz humana que permiten el contacto y la interacción con el sistema y los dispositivos de control y monitoreo que permiten la ejecución de acciones externas como lo son los actuadores y el monitoreo de la

ejecución de las tareas del sistema mediante entradas o sensores estimulados mediante distintas magnitudes físicas.

## 2.12 TARJETA DE DESARROLLO ESP-32 DEVKIT 1

La **ESP32 DEVKIT 1** es una placa de desarrollo constituida por el ESP32-WROOM-32 el cual es un módulo MCU (Unidad de microcontrolador) que incorpora conectividad inalámbrica Wi-Fi y bluetooth dirigido hacia una gran variedad de aplicaciones que van desde la implementación de sensores de baja potencia hasta procesos más exigentes como a la automatización industrial y la domótica.

Este módulo incluye en su interior un procesador de 32 bits de doble núcleo que pueden actuar de forma independiente con una frecuencia de reloj ajustable de 80 a 240 MHz. Además, incorpora un coprocesador de bajo consumo para tarea de supervisión de periféricos, mientras el resto del sistema se encuentra apagado para ahorrar energía.

Internamente el esp32 integra un conjunto de periféricos partiendo desde sensores táctiles capacitivos, sensores hall, interfaz para tarjetas SD, conectividad ethernet, puertos SPI de alta velocidad, comunicación UART, i2S e i2C [22].

### 2.12.1 Especificaciones del ESP-32

En la Tabla 2.1 se mencionan las principales características del módulo ESP-32

*Tabla 2.1 Especificaciones del módulo el ESP32-WROOM-32. [22]*

CATEGORÍA	ITEM	ESPECIFICACIÓN
Procesador	Tipo	CPU Tensilica Xtensa LX6 32 Bits
	Núcleos	2
	Arquitectura	Harvard
Wi-Fi	Protocolos	802.11 b/g/n (802.11n hasta 150 Mbps)
	Rango de Frecuencia	2.4GHz ~ 2.5GHz
Bluetooth	Protocolos	Bluetooth v4.2 BR/EDR y especificación BLE
	Radio	Transmisor clase-1, clase-2 y clase-3

Hardware	Interfaces del módulo	SD card, UART, SPI, SDIO, I <sup>2</sup> C, LED PWM, MOTOR PWM, I <sup>2</sup> S, IR, Contador de pulsos, GPIO, sensor táctil capacitivo, ADC, DAC
	Sensor en Chip	Sensor de efecto Hall
	Cristal integrado	Cristal de 40 MHz
	Memoria FLASH SPI integrada	4 MB
	Fuente de poder/Voltaje de operación	2.7 V ~ 3.6V
	Corriente de operación	80 mA en promedio
	Corriente mínima entregada por la fuente de alimentación	500 mA
	Rango de temperatura de operación recomendado	-40 °C ~ +85 °C

La Figura 2.10 presenta el diagrama de bloques funcionales de la composición del SoC (System on chip) ESP-32:

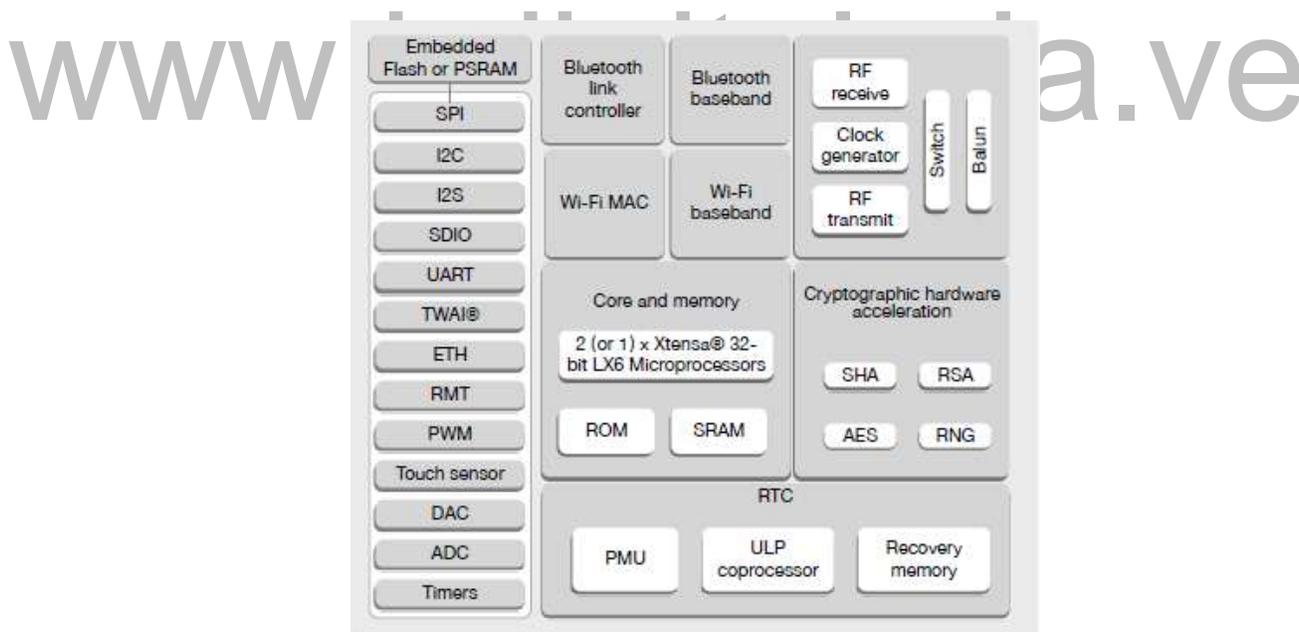


Figura 2.10 Diagrama de bloques funcionales del ESP32.

El ESP32-WROOM-32 viene integrado en una placa de desarrollo llamada DEVKIT 1 que incorpora además los elementos necesarios para la comunicación con un computador mediante un conector Micro USB, un circuito de alimentación con regulación de 5V a 3.3V y acceso fácil a los pines de entrada/salida del módulo. En la Figura 2.11 Esquema de Placa

de desarrollo ESP32 DEVKIT V1. se muestra el esquema de la placa de desarrollo con la respectiva señalización de sus pines.

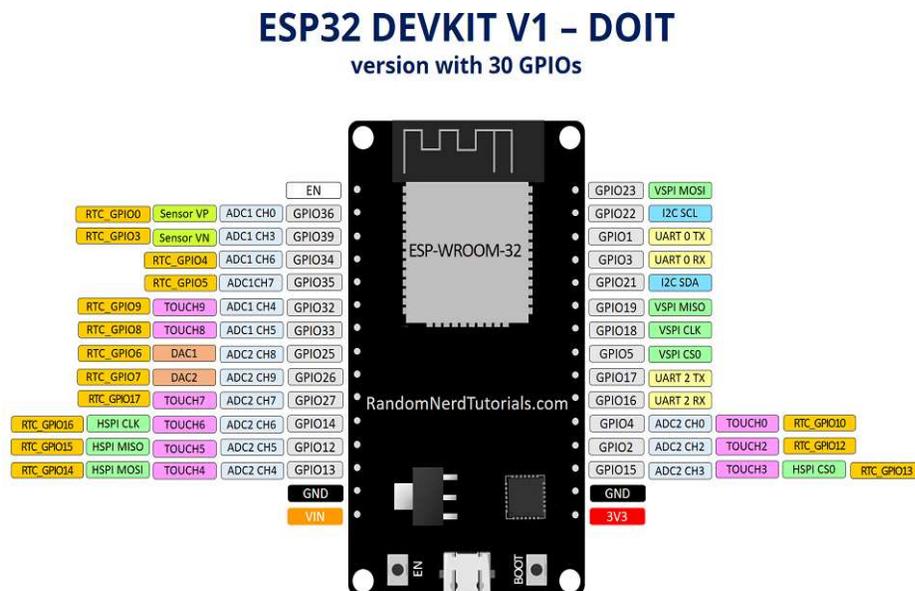


Figura 2.11 Esquema de Placa de desarrollo ESP32 DEVKIT V1. [23]

En la Figura 2.11 se puede notar que existen diferentes tipos de pines que se pueden usar de acuerdo a sus funciones predeterminadas.

Inicialmente los pines GPIO2, GPIO4, GPIO5 y los pines del GPIO12 al GPIO33 pueden ser utilizados como entradas y salidas digitales y además pueden ser configurados con resistencia interna de *PullUp* o *PullDown* según se requiera, además estos pines también pueden ser utilizados para generar señales PWM. Los pines del GPIO34, GPIO35, GPIO36 y GPIO39 solo pueden ser usados como entradas y no poseen resistencias de *PullUp* o *pullDown*.

Los pines desde el GPIO6 al GPIO 11 están conectados internamente a la memoria flash integrada en el módulo, por lo tanto, aunque se tenga acceso a ellos no deben ser utilizados.

Adicionalmente hay una cierta cantidad de pines que incorporan la nomenclatura ADC1 y ADC2, esto es porque el ESP32 incorpora internamente 2 convertidores analógicos- digitales (ADC) para la conversión y procesamiento de señales. En la nomenclatura del pin los caracteres CH seguido de un número representan el canal de acceso a los convertidores, cada

convertidor posee 8 canales para ser usados. Es importante resaltar que cuando se utilizan funciones de Wi-Fi este utiliza el AD2 y por lo tanto no está disponible su uso para el usuario.

La placa de desarrollo contiene 2 convertidores Digitales – analógicos (DAC) para conversión de señales como Audio en los pines GPIO25 y GPIO26.

El ESP32 incorpora 10 sensores capacitivos táctiles para ser utilizados como botones táctiles en reemplazo a los pulsadores físicos, estos pines están identificados en el esquema con la nomenclatura TOUCH seguido de un número correspondiente.

Dentro del apartado de puertos de comunicación alámbrica se incorpora el puerto I2C al cual se puede acceder desde los pines GPIO 21 y GPIO22 señalizados además con la nomenclatura I2C SDA e I2C SCL respectivamente. Se incorpora además 3 puertos UART de comunicación serial de los cuales a dos de ellos se accede en los pines GPIO1, GPIO3, GPIO16 y GPIO17. Uno de estos puertos es utilizado por el ESP32 para la comunicación serial con un computador mediante un puerto micro USB. El ESP32 también integra dos puertos SPI señalizados en la figura 2.11 con la nomenclatura VSPI y HSPI seguido de la función respectiva del pin.

Por último, el esp32 incorpora un sistema RTC de bajo consumo para el modo de suspensión profunda del sistema. Mediante los pines rotulados como RTC\_GPIO seguido de su respectivo número se puede hacer despertar el sistema de su modo de bajo consumo [24].

### **2.13 BUSES DE COMUNICACIÓN**

Se denomina bus a una línea de comunicación que comparten dos o más dispositivos. Los buses de comunicación generalmente se componen de diferentes líneas de comunicación. Cada una de ellas desempeña una función específica y, además, transmite señales digitales binarias. En estas líneas o caminos se intercambian datos [25].

Dentro de los buses de comunicación para microcontroladores tienen relevancia los del tipo serial en el que se emplea una o dos líneas físicas, una sola cuando se transmite y se recibe por el mismo canal y dos cuando se utiliza una para transmisión y otra para recepción y

dependiendo del tipo de transmisión (Síncrona o Asíncrona) se puede tener o no una línea que transporta la señal de reloj para la sincronización de los dispositivos.

Dentro de los buses de comunicaciones es importante definir un par de conceptos mencionados anteriormente respecto a la sincronización como lo son la transmisión síncrona y asíncrona.

- **Transmisión Síncrona:** en la Transmisión Síncrona se envían además de los datos, una señal de reloj con lo cual el receptor se sincroniza con el transmisor y determina los instantes significativos con la señal que se recibe [26]. La Figura 2.12 muestra un esquema básico de la transmisión asíncrona entre 2 dispositivos:

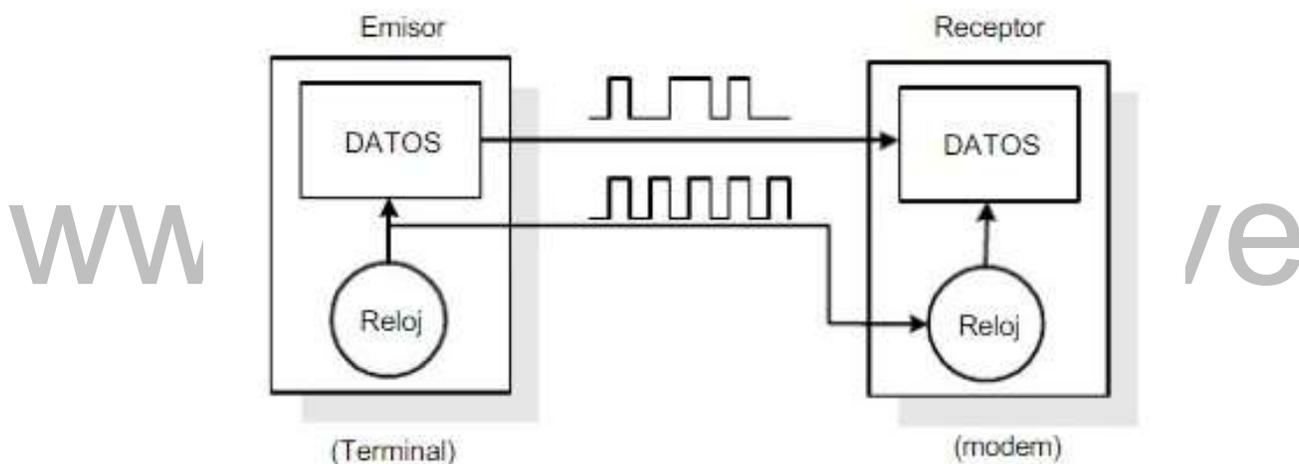


Figura 2.12 Transmisión síncrona. [26]

- **Transmisión Asíncrona:** Este modo de transmisión se caracteriza porque la base de tiempo entre el transmisor y receptor no es la misma, empleándose un reloj para la generación de datos en la transmisión y otro distinto para la recepción.

En este tipo de transmisión la información se transmite por palabras, bytes o conjunto de bits, estando precedidos estos bits por un bit de arranque o “start” y finalizando con al menos un bit de parada o “stop” pudiendo ser también 1,5 o 2 bits [26].

Este tipo de transmisión ocurre la sincronización entre dispositivos a partir del bit de arranque que llega con cada transmisión. En la Figura 2.13 se presenta un esquema básico de transmisión asíncrona.

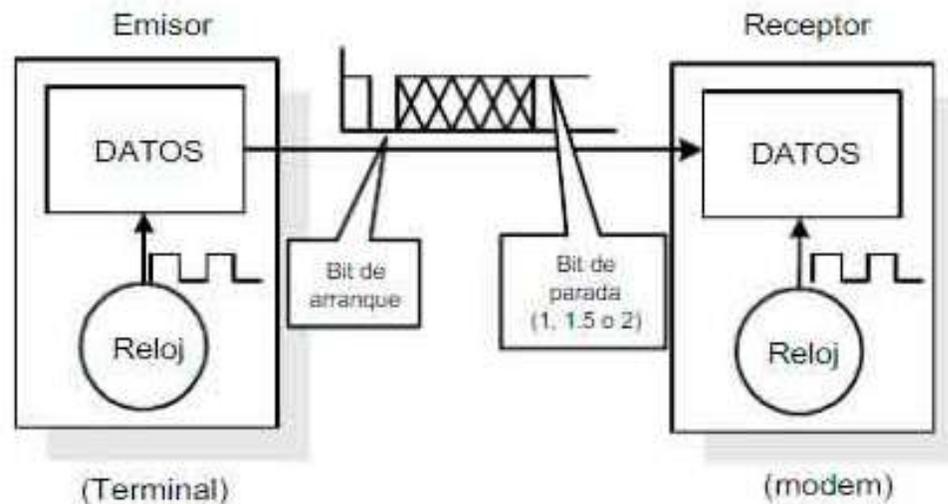


Figura 2.13 Transmisión Asíncrona. [26]

A continuación, se presentan los bus de comunicación de importancia para el desarrollo de este proyecto.

### 2.13.1 Bus UART

UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*) también llamado serial, es el bus más fácil de implementar tanto a nivel de hardware como de software, en su versión más básica usa dos (2) pines de conexión, uno para envío de datos y uno para recepción, en este protocolo se requiere que la tierra sea igual tanto en el receptor como en el emisor [27].

Entre sus características más relevantes se encuentran:

- Cantidad de datos baja: envía paquetes de datos de solo 8 bits
- Velocidad de transmisión media: puede transmitir a velocidades de 1 Mbps en una comunicación full dúplex ya que este bus cuenta con dos líneas de datos, una para enviar (Tx) y otra para recibir (Rx).
- Número de receptores: generalmente se utiliza para comunicar solo dos dispositivos (emisor y un receptor) sin embargo algunas arquitecturas usan este protocolo modificando su capa física para conectar hasta 254 dispositivos.

- Sincronismo: es un protocolo de tipo asíncrono por lo tanto no tiene señal de reloj lo que implica que ambos dispositivos comunicados deben tener la misma velocidad de lectura, normalmente de 9600 bps (Baudios por segundo) [27].

La Figura 2.14 presenta la estructura de datos que se usa para enviar información a través de UART y la forma de conexión:

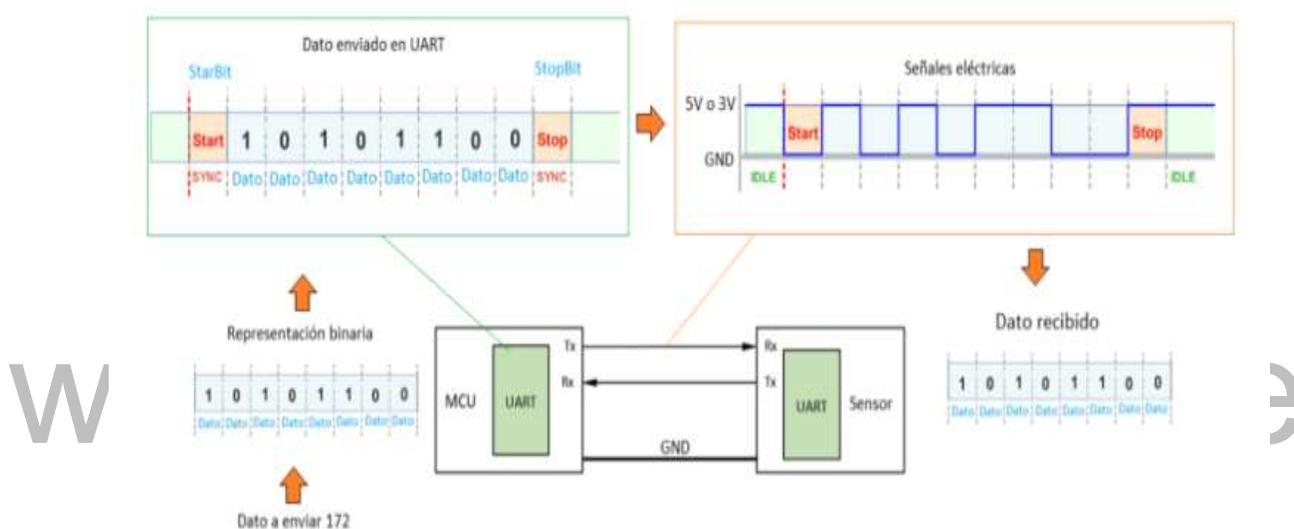


Figura 2.14 Estructura de Datos de la Comunicación UART. [27]

Entre las aplicaciones más importantes de este Bus está la configuración de dispositivos, conexión a monitor Serial de un PC como en el caso del Monitor serial de Arduino, comunicación con sensores o la comunicación con otros periféricos donde se deban compartir datos como por ejemplo un conversor serial a Ethernet.

### 2.13.2 Bus SPI

El SPI (*Serial Peripheral Interface*) es uno de los buses de más alta velocidad, su implementación no requiere acondicionamiento adicional, presenta mayor complejidad a nivel de software que el puerto serial. Se implementa en su versión estándar de 4 pines: un pin de envío de datos, otro para recibir, un pin para la señal de reloj y uno para habilitar, este último pin permite que el bus pueda manejar más de un dispositivo, esto se logra habilitando

el dispositivo a usar y deshabilitando los otros. Generalmente no se tienen más de 3 dispositivos conectados por el mismo SPI [27].

El Bus SPI tiene algunas características importantes que lo hacen atractivo en su uso como son:

- Grandes cantidades de datos: ya que está diseñado para envío de tramas de datos.
- Velocidad de transmisión alta: hasta 60 Mbps ya que posee comunicación del tipo *Full Duplex* ya que tiene un canal de datos para envío llamado MOSI (*Master Output Slave Input*) y un canal de datos para recepción llamado MISO (*Master Input Slave Output*).
- Distancia de transmisión media: 10 metros de transmisión máximos.
- Sincronismo: es un protocolo síncrono por lo cual usa un pin de reloj llamado SCLK.

Se puede apreciar en la Figura 2.15 la estructura de datos y comunicación del Bus SPI.

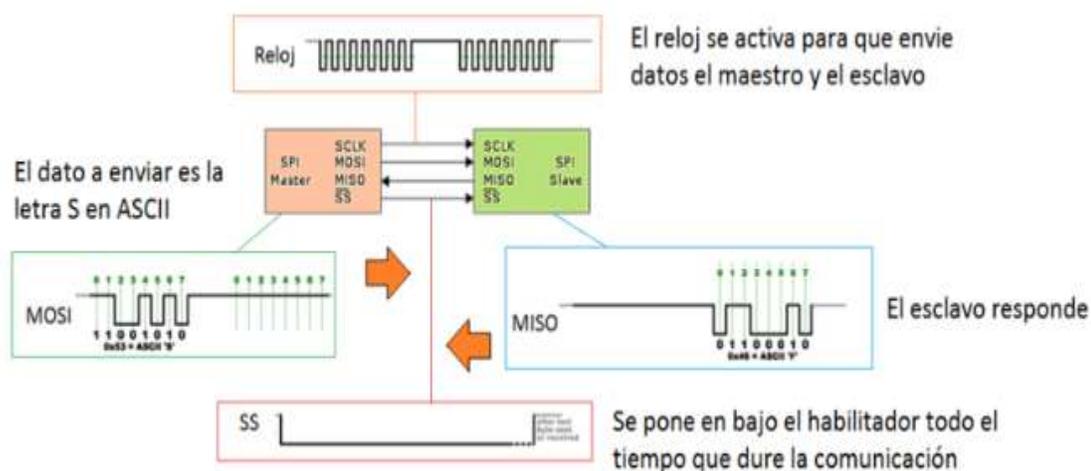


Figura 2.15 Estructura de Comunicación del Bus SPI. [27]

Entre sus aplicaciones más frecuentes se pueden mencionar: el uso de pantallas que no van por puertos dedicados ya que éstas demandan una cantidad de datos por segundo considerable, el uso de cámaras por la misma razón que las pantallas, comunicación con sensores que envían datos a alta frecuencia, comunicación con memorias externas como el

caso de las SD y comunicación de dispositivos ethernet o Wi-Fi que demandan un gran flujo de datos [27].

### 2.13.3 Bus I2C

I2C (*Inter-Integrated Circuit*) es de los 3 protocolos más usados, el único diseñado para conectar múltiples dispositivos al mismo bus de datos lo que implica una mayor complejidad en hardware y software, pero tiene la ventaja que solo utiliza 2 pines: uno para datos y otro para la señal de reloj.

Es un Bus con unas características muy interesantes:

- Cantidad de datos Alta: envío por tramas de datos.
- Velocidad de transmisión media: hasta 3 Mbps, sin embargo, es usualmente utilizado en velocidades inferiores, además utiliza un tipo de comunicación *Half Duplex* por lo cual solo puede transmitir un dato a la vez, ya sea de lectura o de escritura, esto debido a su única línea de datos SDA (Serial Data).
- Distancia de transmisión media: hasta 8 metros de longitud.
- Alto número de Receptores: Varios dispositivos conectados al mismo bus de datos, hasta 127 dispositivos manejando un direccionamiento de 7 bits.
- Bus de comunicación del tipo sincrónico ya que maneja un pin de reloj llamado SCL (*Serial Clock*) [27].

A continuación, se muestra el esquema de conexión y operación de lectura/escritura del Bus I2C en la Figura 2.16:

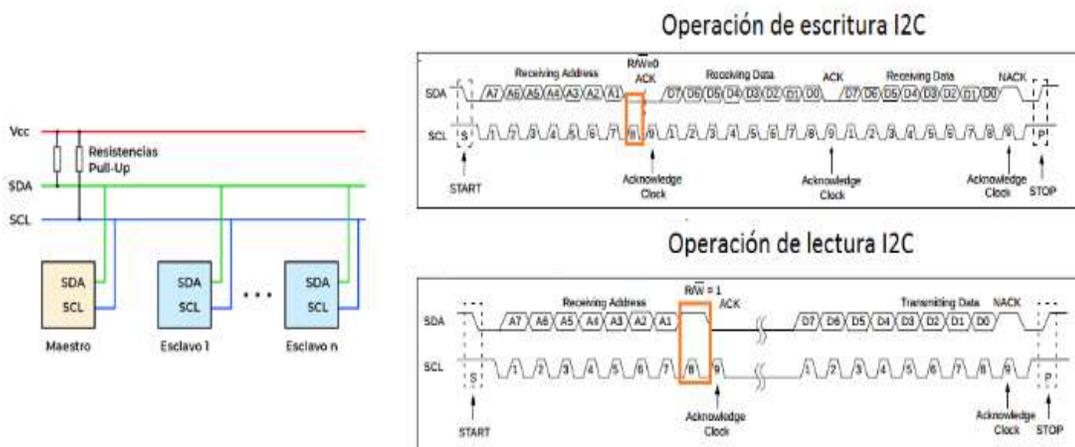


Figura 2.16 Operación de Lectura/Escritura y esquema de conexión del Bus I2C. [27]

El Bus I2C se es comúnmente aplicado en la comunicación con sensores sobre todo cuando se tienen múltiples sensores ya que esto reduce el conexionado. También se utiliza en periféricos que no necesitan una alta tasa de refresco como es el caso de las pantallas LCD 2X16 o 4X20.

## 2.14 TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN INALAMBRICA: WI-FI (IEEE 802.11)

Wi-Fi es una tecnología usada para la conexión inalámbrica entre dispositivos que están interconectados en una red. Esta tecnología permite a los dispositivos habilitados conectarse entre sí o a internet a través de un punto de acceso de red inalámbrica.

Wi-Fi es una abreviación de Wireless Fidelity (Fidelidad inalámbrica) y hace referencia a la empresa encargada de crear esta tecnología, cuyo nombre es Wi-Fi Alliance [28].

La tecnología Wi-Fi es una de las más utilizadas actualmente para la conexión de dispositivos que permiten el acceso a internet debido a su comodidad versatilidad y la estandarización de la misma.

Actualmente se puede conseguir esta tecnología en múltiples tipos de dispositivos, desde computadoras personales, dispositivos móviles, SmartTV, enrutadores, placas de desarrollo orientadas al internet de las cosas como el caso de la ESP-32, entre otros.

Existen diferentes tipos de Wi-Fi, basados en el estándar IEEE-802.11:

- Los estándares IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, y IEEE 802.11n son los más comunes a nivel mundial permitiendo velocidades de transmisión de hasta 11Mb/s, 54Mb/s y 300 Mb/s respectivamente trabajando a una frecuencia de 2.4 GHz.
- El estándar IEEE 802.11ac que es el más reciente conocido también como Wi-Fi 5 operando a una frecuencia de 5 GHz. Posee un alcance menor que los estándares anteriores, pero permiten tener menos interferencias [28].

## 2.15 INTERNET

“**Internet** es un conjunto descentralizado de redes interconectadas a través de un conjunto de protocolos denominado TCP/IP” [29].

Su nombre es procedente del inglés *Interconnected Networks* (redes interconectadas). Esta se caracteriza por permitir el intercambio y libre acceso a la información sin barreras de tiempo y espacio [29].

## 2.16 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

“Cuando hablamos de comunicaciones de red, un protocolo es el conjunto de normas que rigen cómo los paquetes de comunicación se transmiten a través de la red” [30].

Estas normas permiten la estandarización en los dispositivos de interconexión para una comunicación y transmisión de datos efectiva. Se trata de que cada dispositivo conectado hable el mismo lenguaje para el intercambio exitoso de información.

A continuación, se presentan los protocolos de comunicación usados para este proyecto.

### 2.16.1 Protocolo de Internet (IP)

El protocolo IP es el protocolo de red fundamental que se usa a través de internet, redes domésticas y redes empresariales. Generalmente este protocolo se utiliza junto al protocolo de control de transporte (TCP) dando lugar al protocolo conjunto TCP/IP [30].

Dentro del protocolo IP existen dos versiones: la IP versión 4 (IPv4) con un direccionamiento de 4 bytes(32 bits) y es la usada actualmente, sin embargo con el aumento de dispositivos conectados diariamente los 4 bytes para este protocolo no son suficientes y es por lo que

aparece IP versión 6 (IPv6) que ejecuta un direccionamiento de 16 bytes(128bits) de longitud [30].

El protocolo IP está organizado en mensajes los cuales son denominados en ocasiones paquetes o datagramas. En cada datagrama se incluye la cabecera la cual especifica el origen, destino y los propios datos del mensaje). La cabecera utilizada por IP tiene por defecto un tamaño de 20 bytes de longitud en el que el que se incluye toda la información a ser enviada [30].

conectados diariamente los 4 bytes para este protocolo no son suficientes y es por lo que aparece IP versión 6 (IPv6) que ejecuta un direccionamiento de 16 bytes (128bits) de longitud [30].

El protocolo IP está organizado en mensajes los cuales son denominados en ocasiones paquetes o datagramas. En cada datagrama se incluye la cabecera la cual especifica el origen, destino y los propios datos del mensaje). La cabecera utilizada por IP tiene por defecto un tamaño de 20 bytes de longitud en el que el que se incluye toda la información a ser enviada [30].

### **2.16.2 Protocolo De Control De Transmisión (TCP)**

“El protocolo TCP es un acuerdo estandarizado de transmisión de datos entre distintos participantes de una red informática” [31].

El protocolo TCP permite establecer una conexión entre dos puntos terminales en una red informática común lo que posibilita el intercambio mutuo de datos. Durante el proceso se puede detectar y corregir cualquier pérdida de datos lo que convierte al TCP en un protocolo confiable. Este protocolo se ubica en la capa de transporte del modelo OSI (*Open Systems Interconnection Model*) de arquitectura de red [31].

### **2.16.3 Protocolo HTTP**

HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) es un protocolo que permite realizar una petición de datos y recursos como puede ser un documento HTML. Es la base de intercambio de datos en la web y un protocolo de estructura cliente-servidor, lo que quiere decir que se inicia una

petición de datos por elemento que quiere recibir (cliente) normalmente por un navegador web [32].

HTTP está basado en el principio de cliente-servidor. Las peticiones son enviadas por el cliente que podría ser un navegador o cualquier otro programa. Cada petición individual se envía a un servidor el cual gestiona y responde [32].

El cliente siempre inicia la comunicación (petición) solicitando un documento HTML al servidor. El cliente procesa este documento y envía más peticiones para solicitar scripts, hojas de estilo (CSS) y demás datos necesarios para cargar la página web [32].

Al otro lado del canal de comunicación está el servidor que se encarga de servir los datos solicitados por el cliente [32].

#### **2.16.4 WebSocket**

WebSocket es una tecnología que hace posible abrir una sesión de comunicación interactiva entre el cliente y el servidor. WebSocket permite enviar mensajes a un servidor y recibir respuestas sin la necesidad de consultar al servidor para una respuesta [33].

En lugar de enviar un mensaje GET y esperando una respuesta del servidor, el cliente simplemente escucha el socket, recibe actualizaciones del servidor y usa los datos para iniciar o admitir varias interacciones. Un cliente también puede usar el socket para comunicarse con el servidor, por ejemplo, enviando un mensaje ACK cuando se ha recibido con éxito una actualización [34].

### **2.17 SOFTWARE**

Software es el conjunto de programas o aplicaciones, instrucciones y reglas que permiten el funcionamiento de los equipos informáticos. El software hace posible la ejecución de tareas dentro de un computador. Dentro del software se engloban los sistemas operativos, aplicaciones, navegadores web, programas y juegos entre otros [35].

Para la ejecución de este proyecto se utilizaron herramientas de desarrollo y lenguajes de programación que se presentan a continuación:

### 2.17.1 Arduino IDE

“Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en software y hardware fácil de usar” [36]. Arduino es en esencia una plataforma de desarrollo que permite crear distintos de proyectos electrónicos orientados a la automatización y control.

El IDE (*Integrated Development Environment*), en español Entorno de Desarrollo Integrado es un programa informático compuesto de una serie de herramientas para el desarrollo de la programación. Este puede estar dedicado a uno o varios lenguajes de programación.

El IDE es en esencia un entorno de programación empaquetado como una aplicación que contiene un editor de código, un compilador, un depurador, y una interfaz gráfica de usuario para su operación.

Bajo estos conceptos el IDE de Arduino es entonces el entorno de programación o la herramienta de desarrollo para el hardware y el software de Arduino [37].

Arduino IDE posee su propio lenguaje de programación basado en C++ siguiendo su sintaxis y la gran mayoría de sus sentencias.

Arduino IDE permite directamente cargar el código en las placas de desarrollo y además es un sistema multiplataforma lo que permite la programación de múltiples placas de desarrollo que existen en el mercado además de las propias de Arduino lo que la convierte en una herramienta muy versátil para el desarrollo de proyectos electrónicos.

### 2.17.2 Lenguaje HTML

**HTML** (Lenguaje de Marcas de Hipertexto, del inglés *HyperText Markup Language*) es el componente más básico de la Web. Define el significado y la estructura del contenido web. Además de HTML, generalmente se utilizan otras tecnologías para describir la apariencia/presentación de una página web (CSS) o la funcionalidad/comportamiento (JavaScript) [38].

### 2.17.3 Lenguaje CSS

Hojas de Estilo en Cascada (del inglés *Cascading Style Sheets*) o CSS es el lenguaje de estilos utilizado para describir la presentación de documentos HTML o XML (en-US) (incluyendo varios lenguajes basados en XML como SVG, MathML o XHTML). CSS describe como debe ser renderizado el elemento estructurado en la pantalla, en el habla o en otros medios [39].

### 2.17.4 Lenguaje JavaScript

**JavaScript (JS)** es un lenguaje de programación ligero, interpretado, o compilado justo-a-tiempo (*just-in-time*) con funciones de primera clase. Si bien es más conocido como un lenguaje de scripting (secuencias de comandos) para páginas web, y es usado en muchos entornos fuera del navegador, tal como: Node.js, Apache, CouchDB y Adobe Acrobat. JavaScript es un lenguaje de programación basada en prototipos, multiparadigma, de un solo hilo, dinámico, con soporte para programación orientada a objetos, imperativa y declarativa (por ejemplo, programación funcional) [40].

www.bdigital.ula.ve

## CAPITULO 3

# DISEÑO DEL HARDWARE DEL SISTEMA

El presente capítulo se expone una explicación detallada del hardware empleado y su interconexión, así como su funcionalidad en el diseño del sistema electrónico para monitoreo y control de producción en la maquina dosificadora de polvos y granulados.

El sistema electrónico está dividido por 11 módulos de acuerdo a las tareas que se ejecutan en el proceso desde la medición de sensores hasta el registro y visualización de datos permitiendo la simplificación de los circuitos utilizados para el diseño e implementación.

En la Figura 3.1 se presenta el diagrama estructural del sistema en el que se aprecia cada una de las partes que lo integran.

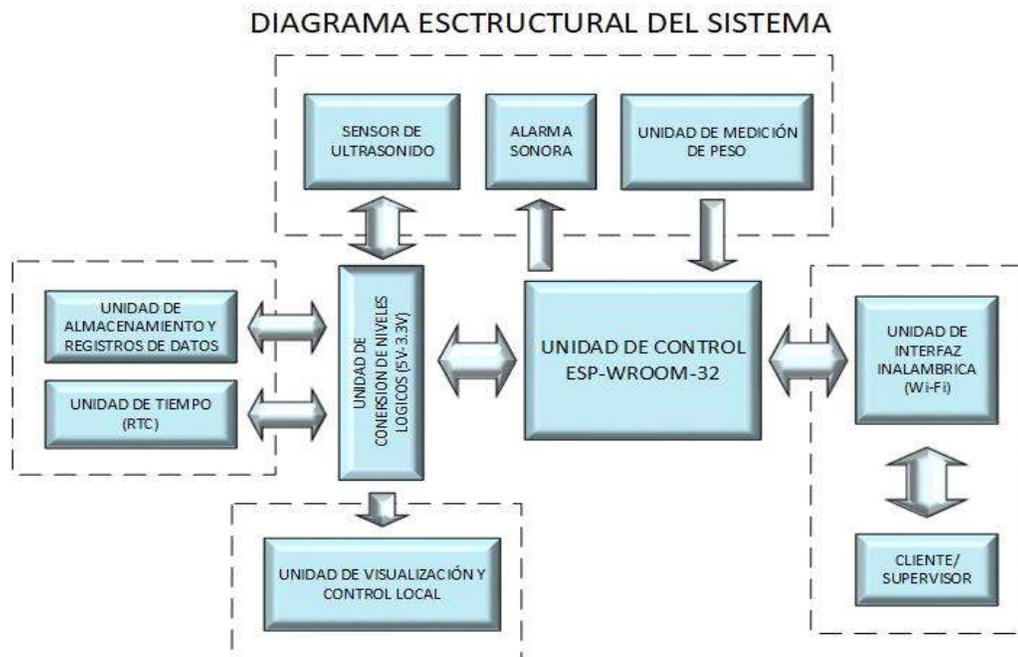


Figura 3.1 Diagrama Estructural del Sistema Electrónico.

### 3.1 UNIDAD DE CONTROL ESP-WROOM-32

Para gestionar y controlar todos los procesos del sistema se optó por la tarjeta de desarrollo ESP-32 DEVKIT V1 presentada en la sección 2.12 del presente trabajo, en el cual se conectan todas las unidades.

La ESP-32 funciona con una tensión nominal de 3.3V, aunque se energiza con una fuente de tensión de 5V ya que la placa incluye un regulador de voltaje que disminuye la tensión al valor nominal, además incorpora un pin llamado Vin para su alimentación desde una fuente externa conectado internamente a la entrada del regulador. La placa incorpora un puerto de comunicación I2C en los pines GPIO21(SDA) y GPIO22(SCL) al cual se conectan el Módulo RTC y el módulo expensor I2C de la pantalla LCD. Incorpora además un Bus SPI en el que se conecta el módulo microSD en los pines GPIO5(VSPI CS0), GPIO18 (VSPI CLK), GPIO9(VSPI MISO), GPIO23(VSPI MOSI). En los pines GPIO4(D4) y GPIO15(D15) se conectan los terminales **Trig** y **Echo** del sensor ultrasónico para la detección de objetos en la balanza. Es importante resaltar que la conexión con los módulos microSD, RTC, expensor I2C y sensor ultrasónico no es directa, sino que se hace a través a través del convertidor de niveles lógicos ya que estos funcionan a niveles lógicos altos de 5V mientras la ESP-32 usa lógica de 3.3V.

A la ESP-32 se conectan en entradas digitales 4 pulsadores para el manejo del sistema de forma local siendo estos: SELECTOR, MODO, TARA Y RESET en los pines GPIO25, GPIO26, GPIO27 y EN. también está conectada a la ESP-32 una salida digital ON/OFF para el control del dispensado de productos a la que se le integra en paralelo un indicador piloto de tipo LED para la verificación de su funcionamiento en el pin GPIO14. Además del indicador visual se conecta a otra salida digital un *Buzzer* como indicador sonoro a través del pin GPIO2.

La tarjeta de desarrollo establece comunicación directa con el sensor de pesado a través del módulo acondicionador HX711 mediante comunicación serial síncrona para el registro del peso del producto a dosificar, este módulo se conecta al microcontrolador en los pines GPIO32 y GPIO33.



La señal máxima de la celda de carga es del orden de 1mV lo cual imposibilita su procesamiento de manera directa además de una alta susceptibilidad al ruido externo por lo cual necesita ser acondicionada antes de ser utilizada por el microcontrolador.

La apariencia física de la celda y su esquemático de Proteus se presentan en la Figura 3.3

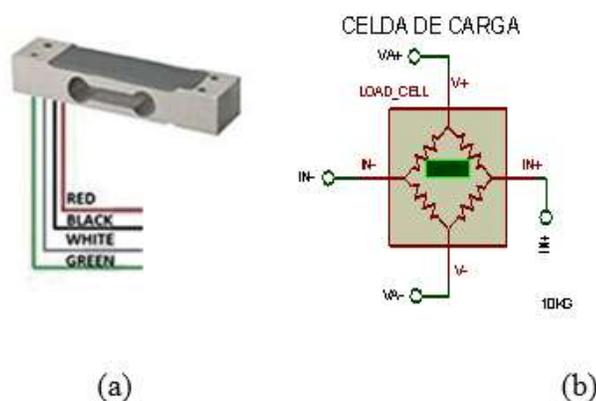


Figura 3.3 a) Celda de carga de tipo Viga b) esquemático de Proteus de la celda de carga.

En la Figura 3.4 se muestra una tabla de especificaciones de la celda de carga TAL20 utilizada para el diseño planteado.

Specifications:		
capacity	kg	3, 5, 10, 20, 25, 30, 50 (aluminum); 80, 100, 120, 200 (alloy steel)
safe overload	%FS	120
ultimate overload	%FS	150
rated output	mV/V	1.0 ± 0.15
excitation voltage	Vdc	5 - 10
combined error	%FS	± 0.05
zero unbalance	%FS	± 0.1
non-linearity	%FS	± 0.05
hysteresis	%FS	± 0.05
repeatability	%FS	± 0.03
creep	%FS/3min	± 0.05
input resistance	Ω	1000 ± 15
output resistance	Ω	1000 ± 10
insulation resistance	M Ω	± 2000
operating temperature range	°C	-10 - +55
compensated temperature range	°C	-10 - +40
temperature coefficient of SPAN	%FS/10°C	± 0.05
temperature coefficient of ZERO	%FS/10°C	± 0.05
Electrical connection	cable	4 color wire (standard) or 4 shielded PVC cable, Ø0.8 - 220 mm

Figura 3.4 Tabla de especificaciones de la celda de carga TAL220. [42]

Mayor información acerca de la celda de carga TAL220 en su hoja de datos [42].

### 3.2.2 Circuito de Acondicionamiento de la Celda de Carga

Como se mencionó en el apartado anterior la señal proveniente de la celda de carga debido a su valor tan bajo y a la alta influencia del ruido externa sobre ella. El circuito de acondicionamiento para la celda de carga es el Módulo HX711 cuyo componente principal es el ADC-HX711. Este circuito integrado se encarga de filtrar, amplificar y hacer una conversión analógica-digital de la señal para enviarla en formato serial al microcontrolador de la placa de desarrollo.

La ESP-32 ya incorpora un convertidor ADC de 12 bits para el procesamiento de señales analógicas, sin embargo, al tener una resolución máxima de 0.8 mV como valor mínimo esta no es suficiente para interpretar la pequeña señal generada de la celda de carga (del orden de los micro voltios) por lo cual es necesario utilizar un ADC de mejor resolución como es el caso del HX711.

La Figura 3.5 presenta es el esquema de conexión del módulo HX711 sugerido por el fabricante:

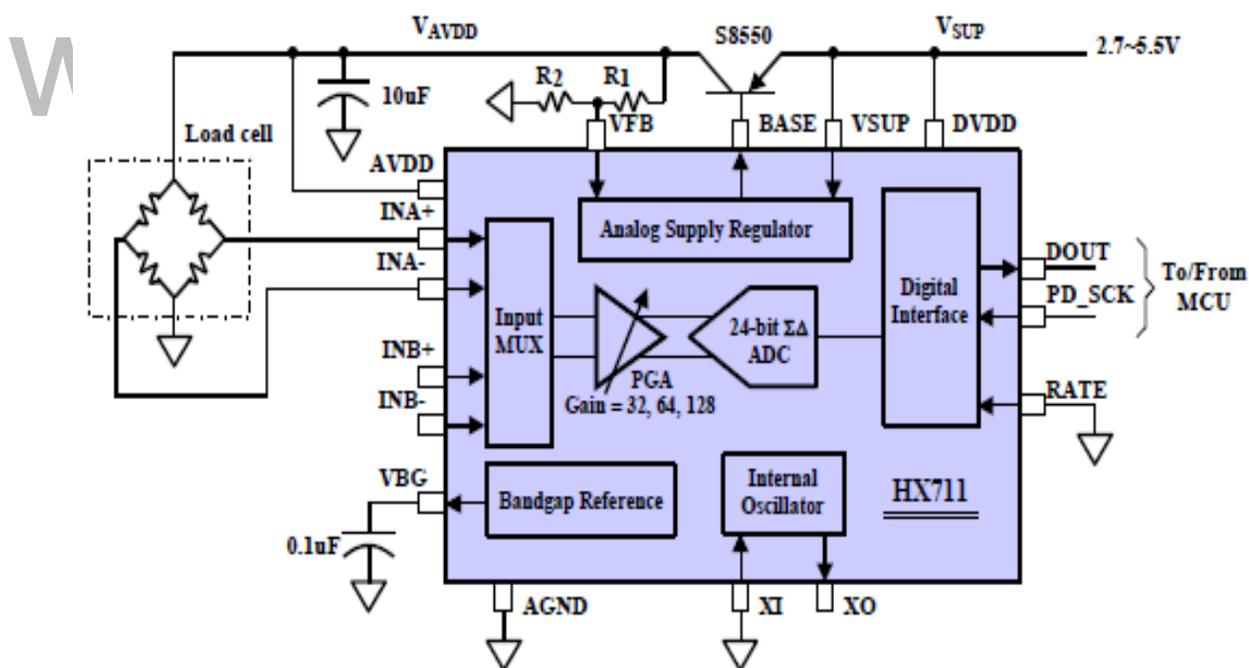


Figura 3.5 Esquema de conexión del módulo HX711. [43]

La Figura 3.6 muestra el esquema de conexión de la celda de carga con Modulo HX711 y su configuración de pines de conexión.

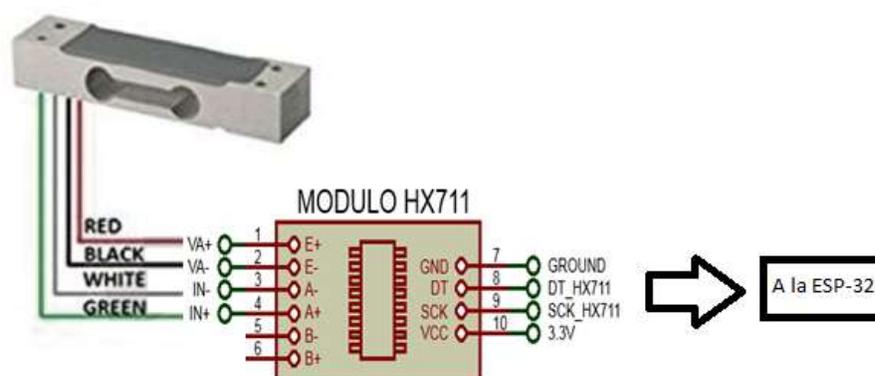


Figura 3.6 Esquemático de Proteus del Módulo HX711.

En la figura 3.4 los pines E+, E- (excitación de la celda), A+, A- (señal de la celda) representan el puerto entrada del módulo en el que se conecta la celda de carga (VA+ a E+, VA- a E-, IN- a A- e IN+ a A+) según la especificación de los conductores. El puerto de salida está dado por los pines VCC y GND encargados de la alimentación, y los pines DT para el envío de la señal digitalizada y SCK para recibir la secuencia de pulsos de reloj para el funcionamiento del ADC.

En la Tabla 3.1 se presentan algunos parámetros de interés del módulo HX711 datos por el *datasheet* del ADC-HX711:

Tabla 3.1 Parámetros de interés del Módulo HX711. [43]

PARÁMETRO	VALOR
Alimentación	2.7V - 5.5V
Resolución	24 bits
Tiempo de estabilización de salida	50 ms
Ganancia de amplificación	128
	64
	32

Otras características y modo de funcionamiento están disponibles en el *datasheet* del ADC HX711 [43].

### 3.3 UNIDAD DE CONVERSIÓN DE NIVELES LÓGICOS (3.3V – 5V)

Es la unidad compuesta por dos módulos convertidores BSS138 de 4 canales cada uno para un total de 8 canales (8 bits de datos). Esta unidad se encarga de transformar los niveles lógicos de

3.3V a 5V y viceversa ya que a excepción del módulo HX711 y el *Buzzer*, los demás dispositivos funcionan a un nivel lógico alto de 5V mientras que el microcontrolador funciona en un nivel de 3.3V, lo que implica que se deba utilizar esta conversión para evitar daños eléctricos.

La Figura 3.7 muestra el Esquema de conexión de Proteus de los convertidores de nivel lógico.

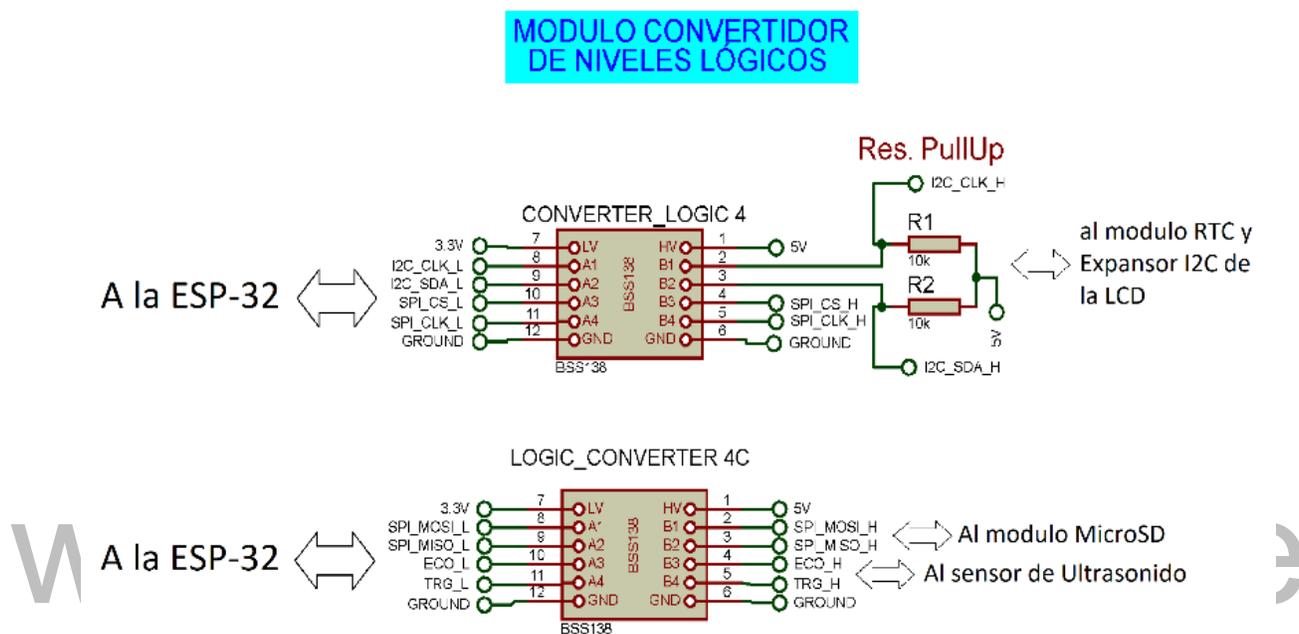


Figura 3.7 Esquema de conexión de los convertidores de nivel Lógicos.

### 3.4 UNIDAD DE VISUALIZACIÓN LOCAL

Esta unidad está compuesta por una pantalla LCD20X4 en conjunto a un módulo expansor para comunicación I2C para convertir la comunicación paralela de 8 bits de la pantalla en una comunicación serial asíncrona a fin de disminuir la cantidad de pines a utilizar del microcontrolador. La pantalla es de tipo LCD con un tamaño de 20 columnas por 4 filas para un total de 80 caracteres de visualización.

El módulo expansor está constituido por el circuito integrado PCF8574 el cual es un expansor de pines que permite obtener 8 bits de salida a partir de los pines del puerto serial I2C SDA y SCL. Las salidas de los pines son del tipo *latch* lo que permite mantener el valor asignado sin necesidad de refrescar constantemente. Cabe destacar que los pines de la conexión I2C requiere resistencias de *PullUp* conectadas a Vcc para el correcto funcionamiento del Bus. El valor de

estas resistencias se puede tomar en un rango de 4.7 K $\Omega$  a 10 K $\Omega$ . para este caso se utilizaron resistencias de 10 K $\Omega$ .

La Figura 3.8 presenta los esquemas de conexión de la pantalla y su módulo.

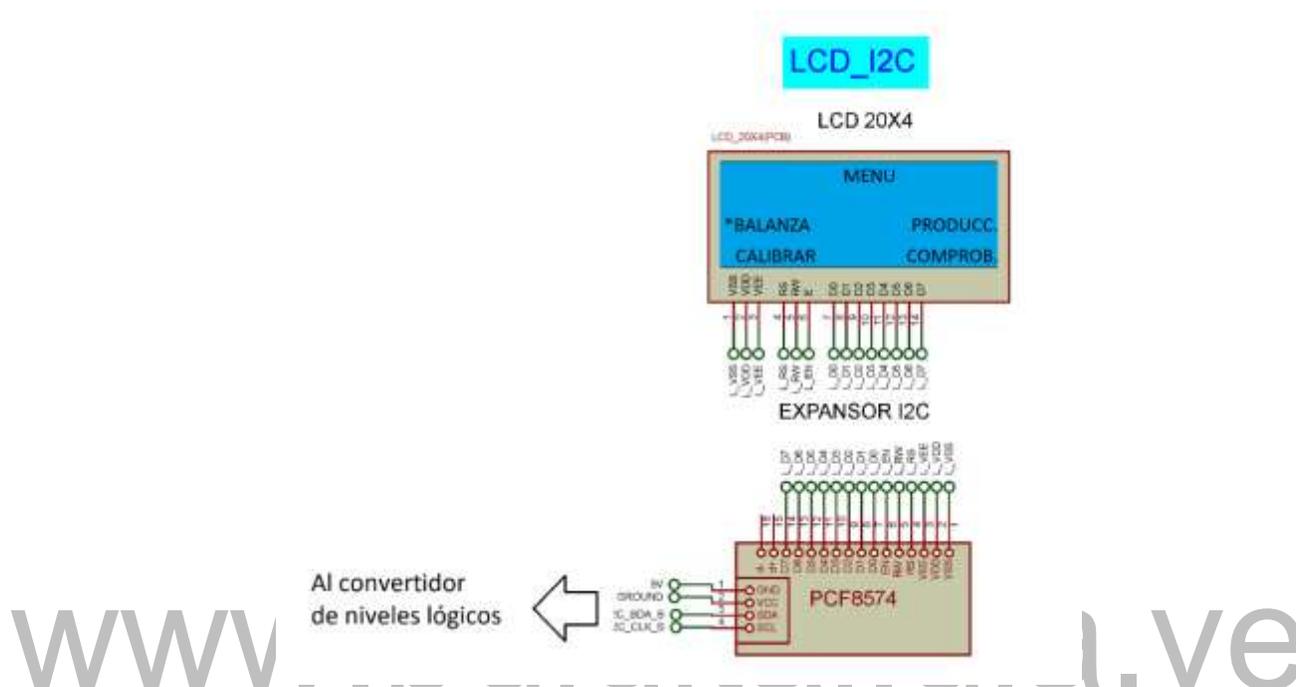


Figura 3.8 Esquema de conexión del expansor I2C y la pantalla LCD 20X4

Dentro de la unidad de visualización local también se incorporan los 4 pulsadores mencionados anteriormente en la unidad de control los cuales cumplen la función de navegar en la pantalla del sistema para seleccionar e ingresar a las distintas funciones del sistema, establecer la tara del sistema de pesado y salir de las tareas cuando sea necesario. Eléctricamente estos botones se conectan directamente a los pines indicados en la placa de desarrollo sin embargo se alojarán junto a la pantalla en la unidad de visualización local para que el operario pueda controlar el sistema de forma sencilla.

Mediante la pantalla LCD se pueden visualizar entre otras cosas, el peso, fecha, hora, cantidad de productos pesados, el menú de las distintas funciones del sistema, indicadores a registrar, parámetros de calibración.

En la Figura 3.9 se presentan el diseño de las pantallas más importantes que se visualizan en el sistema.



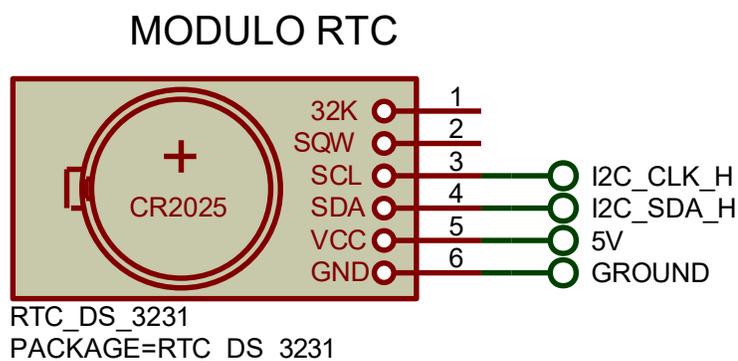
*Figura 3.9 Principales pantallas que se visualizan en el sistema.*

### 3.5 UNIDAD DE TIEMPO (RTC)

es la unidad encargada de mantener la hora y fecha del sistema mediante la utilización de un Reloj de Tiempo Real (RTC) y una batería para que este permanezca en funcionamiento, aunque la unidad de control se quede sin energía. Es importante que la hora y fecha del sistema se mantenga actualizada ya que estos datos se necesitan para el registro de producción que almacena el sistema. En este caso se utiliza un módulo basado en el circuito integrado DS\_3231 el cual es un reloj de tiempo real que almacena la fecha y hora aun cuando el resto del equipo esté desenergizado. Esto es gracias a que incorpora una batería de Litio de larga duración de 3V.

El RTC utiliza una tensión de alimentación de 5V y se conecta al microcontrolador mediante el puerto I2C que comparte con la pantalla.

La Figura 3.10 representa el esquemático del módulo RTC.



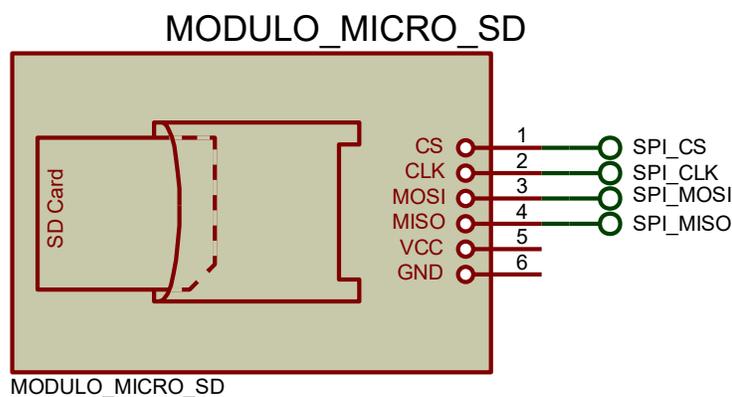
*Figura 3.10 Esquemático del módulo RTC*

### 3.6 UNIDAD DE ALMACENAMIENTO Y REGISTRO DE DATOS

En este módulo se incorpora un lector de tarjetas MicroSD cuya función es almacenar los registros diarios de producción y que estén a disposición del operario en cualquier momento para su revisión y procesamiento.

La comunicación entre el módulo MicroSD y el microcontrolador se establece mediante comunicación SPI a través de los pines CS, CLK, MISO y MOSI. Estos dos últimos son los que se encargan del envío y recepción de datos. El módulo utilizado es capaz de soportar tarjetas micro SD con capacidad Máxima hasta 32GB (formato SDHC).

En la Figura 3.11 se puede apreciar el esquemático del Módulo MicroSD utilizado en este sistema.



*Figura 3.11 Esquemático Modulo MicroSD*

Los datos de producción se guardan en el formato que se muestra en la Figura 3.12

Lote	Fecha	Hora	Presentación (Gr.)	Cantidad
------	-------	------	-----------------------	----------

Figura 3.12 Formato de guardado del registro en la microSD.

### 3.7 SENSOR DE ULTRASONIDO

Para la detección de empaques en el área de dosificación y pesado se implementa un sensor de tipo ultrasónico cuyo principio de funcionamiento fue descrito en el marco teórico. El módulo en cuestión es el HC-SR04 que se compone de un emisor de audio y un receptor.

Se escoge el sensor de tipo sonoro ya que da mayor fiabilidad que los típicos sensores infrarrojos frente a la detección de objetos transparentes como es el caso de las bolsas transparentes utilizadas para el empaqueo de distintos tipos de polvos y granulados. Mientras las ondas de sonido rebotan con facilidad en casi todo tipo de superficies, el haz de luz infrarroja tiende a refractar en superficies translucidas lo que supone un problema para esta aplicación.

Las principales características del Módulo HC-SR04 se presentan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Características Técnicas del Sensor HC-SR04 [44]

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje de Trabajo	5 V
Corriente de Trabajo	15 mA
Frecuencia de Trabajo	40 Hz
Rango de medición	4 m
Distancia mínima de medición	2 cm
Señal mínima de disparo	10 uS

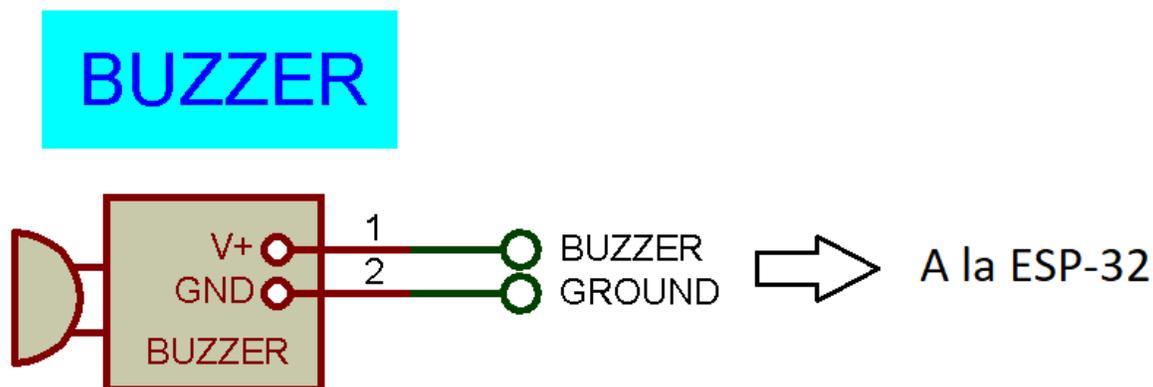
Para mayor información consultar la hoja de datos del sensor HC-SR04 [44].

### 3.8 ALARMA AUDITIVA

la alarma auditiva es un Zumbador (*Buzzer*) el cual funciona mediante un efecto piezoeléctrico con tensión entre 3 y 24 VDC y emite un sonido en función del tiempo que dure la señal que lo activa en nivel alto. El *Buzzer* se activa directamente desde el microcontrolador con una salida

digital alimentado a una tensión de 3.3V. este dispositivo se implementa en este proyecto para establecer una alerta auditiva al operador con el fin de avisarle de un determinado evento.

En la Figura 3.13 se representa el esquemático del zumbador implementado



*Figura 3.13 Esquemático de un Zumbador (Buzzer).*

### 3.9 UNIDAD DE INTERFAZ INALÁMBRICA (Wi-Fi)

La unidad inalámbrica está implementada mediante la funcionalidad de conexión Wi-Fi integrada en la placa de desarrollo ESP-32 ya que esta lo incorpora de fábrica. En esta se encuentra el hardware integrado para crear una Red Wi-Fi o conectarse a una red existente mediante la antena Integrada. Incorpora Wi-Fi 4 (2.4 GHz) mediante protocolo TCP/IP y 802.11 b/g/n. Su función es proporcionar una comunicación inalámbrica entre La ESP-32 y el cliente con el fin de poder monitorear el sistema y acceder al registro de producción de forma remota.

La Figura 3.14 representa un esquema de comunicación entre el ESP-32 y los clientes mediante un enrutador.

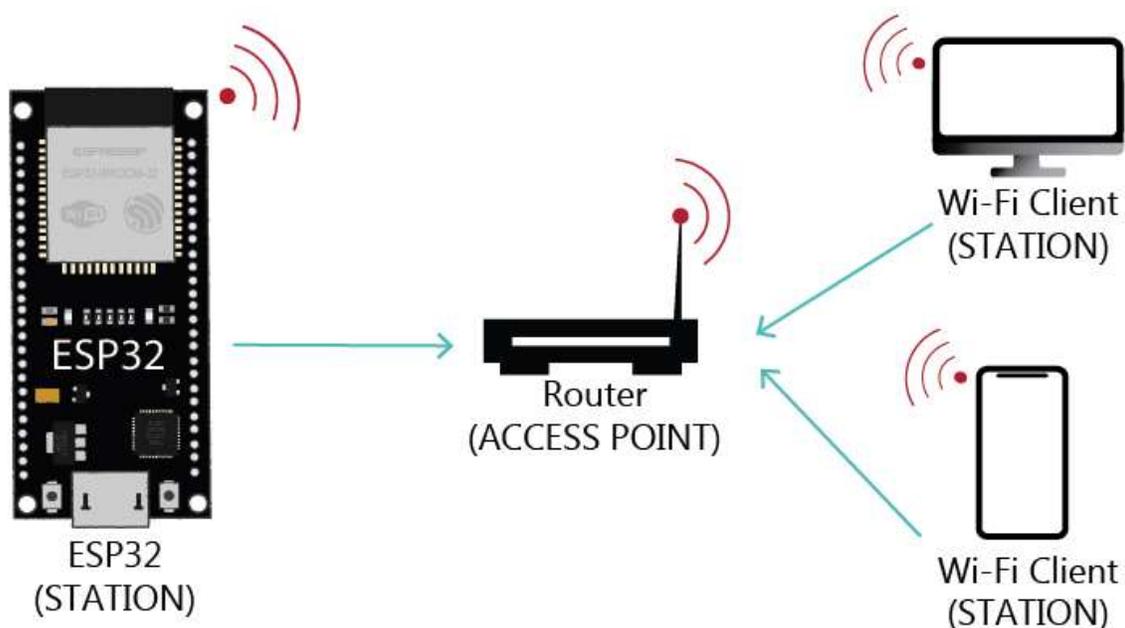


Figura 3.14 Esquema de comunicación entre Esp-32 y clientes [45].

### 3.10 CLIENTE

El cliente es el equipo o dispositivo utilizado para acceder al servidor del sistema electrónico mediante una página web implementada con el fin de monitorear en tiempo el proceso de producción y además acceder a los registros guardados en la tarjeta microSD. el equipo a utilizar puede ser un computador personal o un dispositivo móvil conectado a la red local que comparte con el sistema electrónico de producción. Ver Figura 3.15.

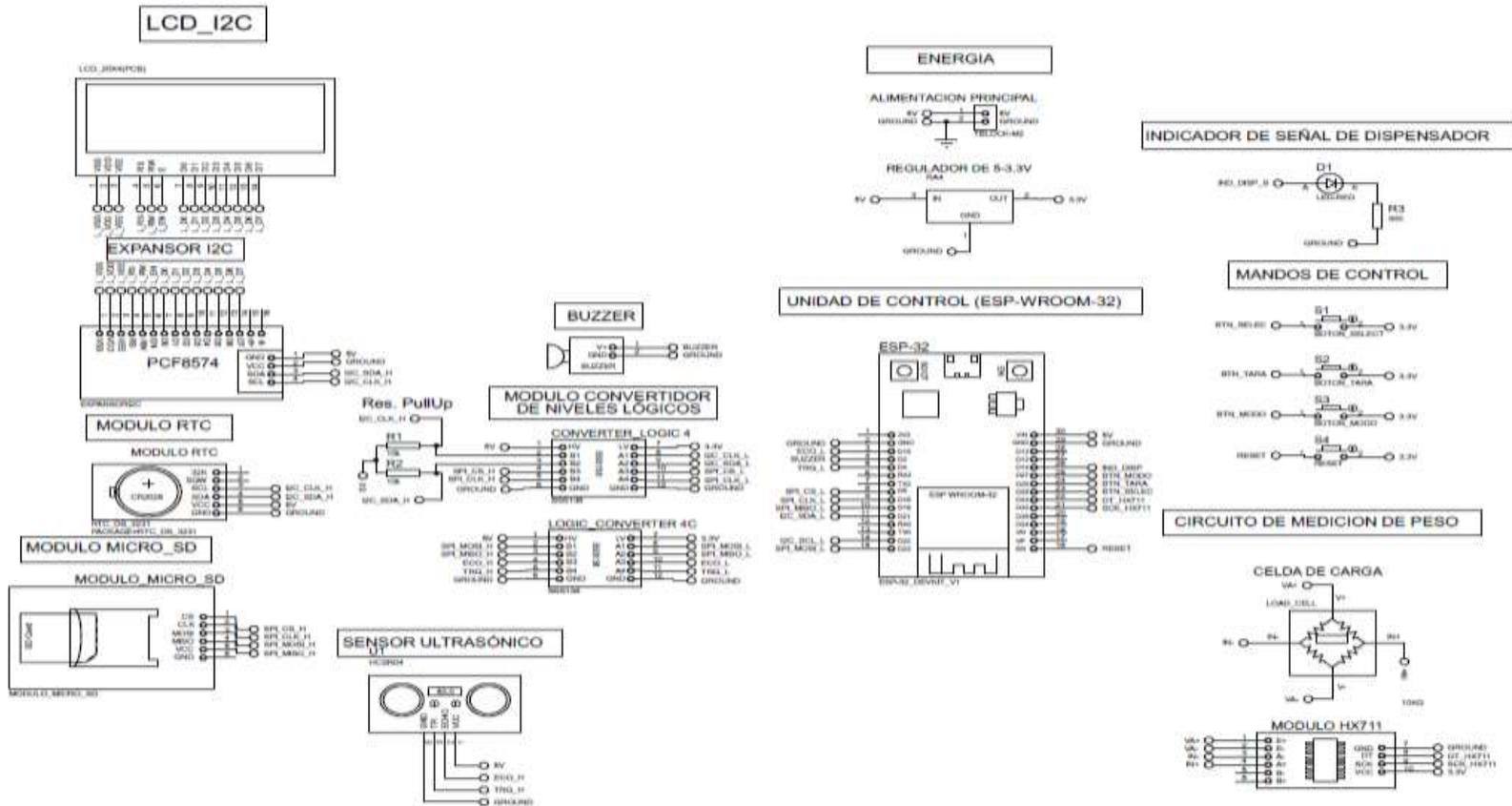


*Figura 3.15 Dispositivos en modo cliente para la conexión inalámbrica con el sistema electrónico mediante una página Web. [46]*

### 3.11 ESQUEMATICOS DEL SISTEMA ELECTRÓNICO COMPLETO

En la Figura 3.16 se presenta el esquemático completo del sistema eléctrico en el cual se aloja la placa de desarrollo ESP-32, el módulo microSD, el módulo RTC, el regulador de voltaje, el módulo HX711, los conversores de nivel, la pantalla junto a su módulo expansor, los pulsadores de mando, la alarma sonora y el indicador piloto del dispensador. Cabe destacar que, aunque la celda de carga y el sensor de ultrasonido se incluyen también en esta tarjeta en la implementación física de estos componentes van fuera de ella conectados por sus respectivos cables ya que estos se integran en el área de dosificación y pesado del sistema.

## ESQUEMATICO DEL SISTEMA ELECTRONICO



**ELECTROPACKAGE**

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA**

**REALIZADO POR:  
Br. JESUS ENRIQUE RUIZ MONTILVA**

**DIAGRAMA CIRCUITAL DE LA PLACA DEL SISTEMA ELECTRONICO PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE PRODUCCION DE CAFE EN UNA MAQUINA DOSIFICADORA DE POLVOS Y GRANULADOS**

*Figura 3.16 Esquemático de tarjeta del Sistema Electrónico.*

# **CAPITULO 4**

## **DISEÑO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA ELECTRONICO PARA MONITOREO Y CONTROL DE PRODUCCION**

El presente capítulo describe el programa implementado en el microcontrolador ESP-32 y la interfaz de usuario (página web) para el monitoreo y control de producción. Para el funcionamiento del sistema de control se ha desarrollado el código de programación implementado directamente en el microcontrolador de la placa de desarrollo. Para el monitoreo remoto del sistema se desarrolló una página web para la comunicación vía Wi-fi, lo que permitirá acceder al sistema desde cualquier computador de escritorio, portátil o dispositivo móvil que esté conectado a la misma red que el sistema electrónico desarrollado.

### **4.1 SOFTWARE DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN**

Para el desarrollo del software del microcontrolador se utilizó el entorno de desarrollo ARDUINO IDE en su versión 1.8.19. La programación del código esta modelada mediante la implementación de máquina de estados para separar y optimizar el funcionamiento en varias partes según la tarea que el sistema deba realizar además de las diferentes funciones a realizar en el proceso.

#### **4.1.1 Máquina de Estados del sistema**

La máquina de estados es la estructura sobre la cual se ejecutan los procesos de funcionamiento del sistema diseñado. A continuación, en la Figura 4.1 se muestra el diagrama de estados principal conformado por nueve (9) estados, sobre el cual funcionan los demás procesos (medición, control, registro y monitoreo).



A continuación, se aborda la descripción y funcionamiento de cada estado de la Figura 4.1 para su mejor entendimiento.

- **COMPROBAR:** Es el estado en el que el sistema inicia su ejecución. En este se comprueba el correcto funcionamiento de los periféricos críticos de la maquina como lo es módulo de acondicionamiento del sensor de peso HX711, el módulo microSD y el RTC. Si cada uno de estos módulos se inicializa correctamente devuelven un valor booleano = True el cual el programa interpreta como inicialización exitosa y el resultado “True” de la operación lógica AND entre los valores booleanos de los 3 módulos permite la transición al siguiente estado que es el de Menú. De lo contrario la maquina permanecerá en el estado **Comprobar** hasta que se resuelva el problema de la inicialización de los módulos que estén fallando.
- **MENU:** este es el estado principal del sistema desde el que se seleccionan todas las funcionalidades. Consiste en presentar un Menú en la pantalla principal con 4 funciones disponibles como lo es Balanza, calibrar, Producción y comprobar (Ver Figura 4.2), cada una modelada como un estado de la máquina. Básicamente el estado menú es la puerta de entrada del operario a los demás estados del sistema. La navegación en este estado se realiza mediante la acción del pulsador definido como selector el cual al ser presionado consecutivamente va moviendo el cursor a lo largo de las opciones presentes. Con la opción seleccionada se presiona el botón modo y la maquina se dirige al estado escogido.

PANTALLA DE MENU



Figura 4.2 Pantalla del menú del sistema de monitoreo y control.

- **BALANZA:** En este estado se establece una rutina para la medición del sensor de peso. Esta rutina se explica más adelante en la sección 4.1.2 en la Función de pesado. El valor de peso obtenido se envía a imprimir en la pantalla. Dentro de estado se puede llamar a una función Tara mediante un botón con el mismo nombre. Esta

función se encarga de medir y guardar el valor del peso que genera la base que posa sobre la celda de carga, esto con el fin de ser restado al valor producido por la celda cuando se va a realizar una acción de pesado. Cabe destacar que, al iniciar el sistema, la función antes mencionada es llamada por primera vez para establecer el valor de la tara y ser utilizado sobre cualquier proceso de pesado que se realice posteriormente.

Para salir de este estado basta con presionar el botón Modo y la máquina se redirige de nuevo a Menú.

- **CALIBRACIÓN:** el estado de calibración ejecuta la función que permite calibrar la celda de carga con un peso conocido. Este estado se divide en sub-estados que van cambiando a lo largo del proceso. Cuando se ingresa a Calibración automáticamente la maquina se posiciona en un sub-estado llamado “SELECCIONAR REFERENCIA” en el cual se solicita al operario que seleccione un peso conocido de una lista de opciones precargadas en el microcontrolador tales como: 1000, 2000 o 2500 gr, opciones que se recorren con la acción del botón SELECTOR. Al escoger el peso se presiona el botón MODO y pasa al siguiente sub-estado conocido como “COLOCAR PESO” el cual le solicita al operario que coloque sobre la base de pesado el peso escogido anteriormente, una vez puesto se presiona el botón MODO y el microcontrolador procede a ejecutar la función de calibración para obtener el valor de escala. Al terminar este valor es guardado en la memoria Flash del ESP-32 para su posterior uso en los procesos de pesado. El valor guardado se carga en una variable cada vez que se reinicia el sistema.
- **PRODUCCION:** En el estado de producción se genera la cuantificación y el registro del empaclado que se desea realizar, en función de la presentación del empaque a escoger. A partir de este estado se genera un proceso secuencial de pesado, registro y guardado para la producción y empaquetado de polvos y granulados como el caso del café. En este estado se genera en la pantalla si se desea continuar con el proceso o regresar al menú, la opción se escoge mediante el botón SELECTOR Y se confirma con el botón MODO. Si se elige la opción continuar la maquina será redirigida al estado de SELECCION.

- **SELECCIÓN:** en este estado el operario debe especificar la presentación en gramos del empaquetado que se desea producir. Los valores de presentación se alojan en un array el cual es recorrido mediante la pulsación consecutiva del botón SELECTOR, una vez conseguida la presentación deseada se confirma con el botón MODO para ingresar a el estado de PESADO. Si el operario desea cancelar el proceso basta con presionar el botón TARA y será redirigido al Estado Menú.
- **PESADO:** este estado aloja la rutina de control de pesado y conteo de empaques producidos. Cuando se ingresa en esta etapa del proceso se imprime un mensaje en pantalla solicitando que se coloque un empaque sobre la base del pesado, un sensor de ultrasonido detecta el empaque y comienza la rutina de pesado y se puede comenzar a dosificar el producto. Si bien cierto que el enfoque de este sistema está orientado a un dosificado manual, el diseño es adaptable al control de un dosificador automático por lo cual se ha dejado una salida que se encargue de accionar el dosificador. Un led piloto se coloca en esta salida el cual se enciende en el momento en que inicia pesado. Para el inicio del proceso de pesado se utiliza la función de detección que devuelve un valor true cuando se ha colocado un empaque en la estructura de pesar. Mientras el producto es dispensado en el empaque, el sistema va ejecutando la función de pesado descrita más adelante en la sección 4.1.2 y comparando el valor obtenido con la referencia de presentación preestablecida. Al momento en que el peso ingresa en el intervalo admisible de la presentación (presentación  $\pm$  Tolerancia) el sistema deja de pesar y emite una alarma auditiva mediante el *buzzer* para indicar que se ha llegado al peso de referencia, a su vez la pantalla indica que el pesado se ha completado y se incrementa en una unidad la variable contador encargada de contabilizar los empaques producidos. Finalmente se imprime en pantalla un mensaje indicando que se retire el empaque llenado. Solo una vez retirado el empaque la pantalla indicará que se coloque uno nuevo para iniciar nuevamente el proceso de pesado. La lectura del pesado puede ser cancelada en cualquier momento presionando el botón SELECTOR sin alterar el conteo actual. Cabe acotar que la tolerancia se establece en un máximo de 5% que es el máximo permitido en la industria.

Durante el proceso, en pantalla se muestra la fecha y hora actual, la presentación del empaçado y la cantidad de unidades producidas. Para culminar el proceso se presiona el botón MODO y el sistema pasará al estado de Registro.

- **REGISTRO:** una vez culminado el procesado de pesado/empacado se debe registrar la producción obtenida, en este estado se muestra toda la información a ser registrada: presentación, cantidad de empaques, fecha, hora y un número de lote el cual se genera en función de la fecha y hora en que culminó el registro. El sistema preguntará al operario si desea guardar la información mediante las opciones sí o no que se pueden elegir a través del botón SELECTOR, la opción se confirma con el botón MODO. Si la opción escogida es “SI”, el sistema pasará al estado de guardado, de lo contrario se redirige al estado de producción para iniciar un nuevo proceso o salir al estado de menú.
- **GUARDADO:** Es el ultimo estado del proceso de producción el cual se ejecuta el proceso de almacenamiento del registro del lote producido. En este apartado el sistema ejecuta la función de guardar creando la ruta y el nombre del archivo donde se guarda la información. Una vez realizado ese proceso se visualiza en pantalla la palabra guardado y posteriormente el sistema se redirige nuevamente al estado de producción.

#### 4.1.2 Funciones ejecutadas en los distintos procesos del sistema

Una vez detallado y explicado el funcionamiento de cada uno de los nueve (9) estados que conforman el programa implementado en el Microcontrolador, ahora es apropiado describir el funcionamiento de las funciones que forman parte de los estados y que son parte importante para llevar a cabo el correcto funcionamiento del sistema.

- **Función de Tara:** Para pesar el producto se hace necesaria una base que es acoplada sobre un extremo de la celda de carga; esta base genera deflexión en la celda generando una señal que

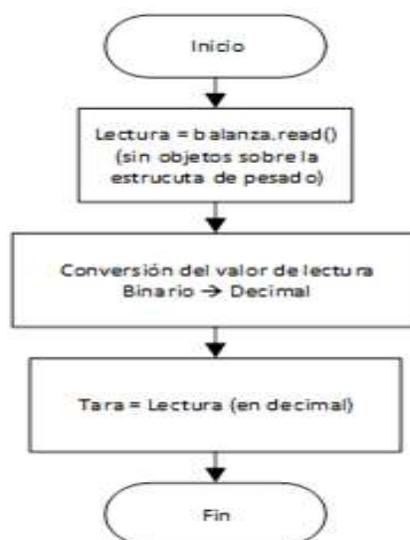


Figura 4.3 Diagrama de flujo de la función Tara.

el microcontrolador interpreta como un peso, por lo tanto, ese valor debe ser restado para poner el peso en cero. En la Figura 4.3 se muestra el diagrama de Flujo de la función de Tara descrita a continuación. La Función de Tara se utiliza para leer el valor de la celda el cual es un número binario de 24 bits que se transforma en decimal; este dato debe ser leído cuando no hay ningún objeto colocado sobre la estructura de pesado; el microcontrolador lo guarda para usarlo posteriormente cuando deba ejecutar el pesado. La Función de Tara debe ser ejecutada al menos una vez al inicializar el sistema.

- **Función de Calibración:** La función de calibración se encarga de calcular el valor de escala utilizado para transformar el valor proveniente de la celda de carga en un valor de peso en función de la unidad con la que está trabajando (gramos o Kilogramos). La Figura 4.4 muestra el diagrama de flujo del proceso de calibración el cual es explicado a continuación.

El proceso de calibración consiste en colocar un valor de peso conocido en la estructura de pesado, el microcontrolador leerá el valor producido por la celda y este debe ser dividido entre el valor en gramos o kilogramos del peso que se colocó, previamente este debe ser guardado en una variable. El resultado de la división entre el valor medido en la celda de carga y el peso conocido será el factor de escala a utilizar para mediciones posteriores.

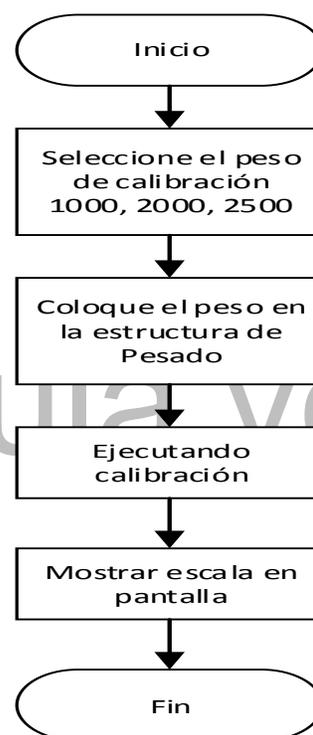


Figura 4.4 Diagrama de flujo del Proceso de calibración.

- **Función de Detección:** en esta función se utiliza el sensor de ultrasonido para detectar los empaques utilizados para la producción. Como se observa en la Figura 4.5, inicialmente se envía un pulso de 10 microsegundos al sensor HC-SR04 para generar una onda ultrasónica, este devuelve el tiempo que tarda la onda en Salir y regresar al sensor. Con este valor se puede determinar la distancia que recorrió la onda dividiendo el tiempo entre una constante determinada por la velocidad del sonido y la escala de medición de distancia. Finalmente se compara la distancia obtenida y si su valor es menor a 30 cm la función devuelve un valor true indicando que un nuevo empaque ha sido colocado en la estructura de pesado.

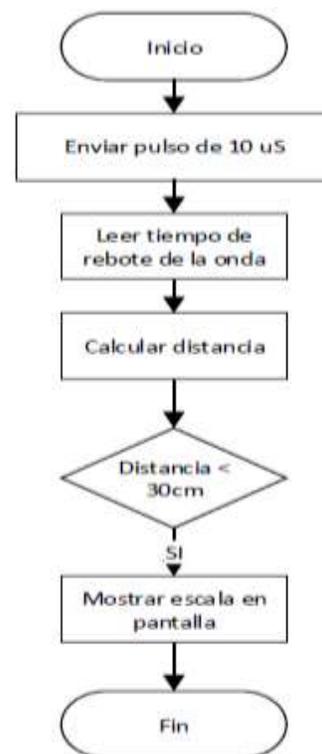


Figura 4.5 Diagrama de Flujo de la función de detección

- **Función de Pesado:** la función de pesado se encarga de capturar el dato suministrado por el módulo HX711 en forma serial para proceder a calcular el peso del producto. La Figura 4.6 muestra un diagrama del proceso ejecutado para obtener el peso. Inicialmente el microcontrolador lee el valor del HX711, lo convierte en decimal y toma el valor guardado por la función Tara. El valor de la Tara es restado al valor medido y posteriormente es dividido entre el valor de escala calculado en la calibración. El resultado de esta operación es el peso del objeto a pesar el cual estará expresado en la unidad definida por el peso conocido en el proceso de calibración.

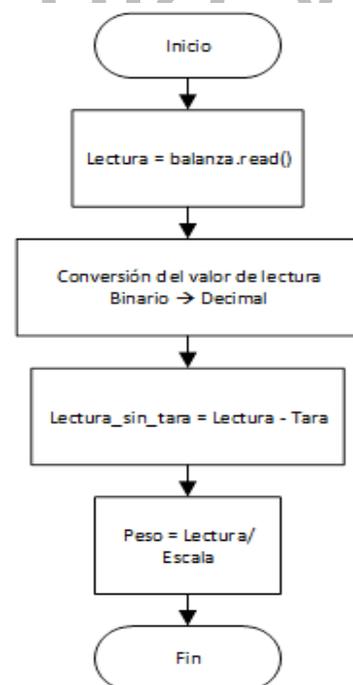


Figura 4.6 Diagrama de flujo del proceso de Pesado

- **Función de Guardar:** Esta función se incorpora en el estado de guardado y se encarga de registrar

en la microSD cada lote de producción que se realice (ver Figura 4.7). Cuando la función de contabilización ha sido ejecutada en el estado de pesado y se ha solicitado en el estado de registro guardar el lote generado se procede a ejecutar la escritura de la información en el módulo de almacenamiento. Inicialmente se toma la fecha actual y se le da formato 00/00/00 para el nombre del archivo y se guarda en la variable fecha\_mSD, en otra variable se crea el directorio donde se va a guardar el archivo agregando el mes y año actual en el que se realiza el registro, luego se crea el nombre del archivo añadiendo el nombre del directorio y la fecha formateada junto a la extensión del archivo que en este caso es .csv, se utiliza esta extensión para que el archivo pueda ser abierto mediante Excel como una tabla de datos. Con el directorio creado se verifica si este ya existe en la microSD, en caso contrario, se crea el directorio. Posteriormente se verifica si el archivo a guardar existe; si no existe se procede a crearlo y escribir el encabezado del archivo el cual se presentó en la Tabla 3.2 del presente documento. Si el archivo ya ha sido creado de un registro anterior, se omite este paso y se procede a colocar en una cadena de caracteres las variables a registrar separadas por un punto y coma “;” en el mismo orden en que está estructurado el encabezado para luego añadir esta variable al archivo al que corresponde. El punto y coma se coloca para servir como separador y así el programa de Excel o cualquier otro similar detecte esta separación como fin de columna. Finalmente termina el proceso de guardado.

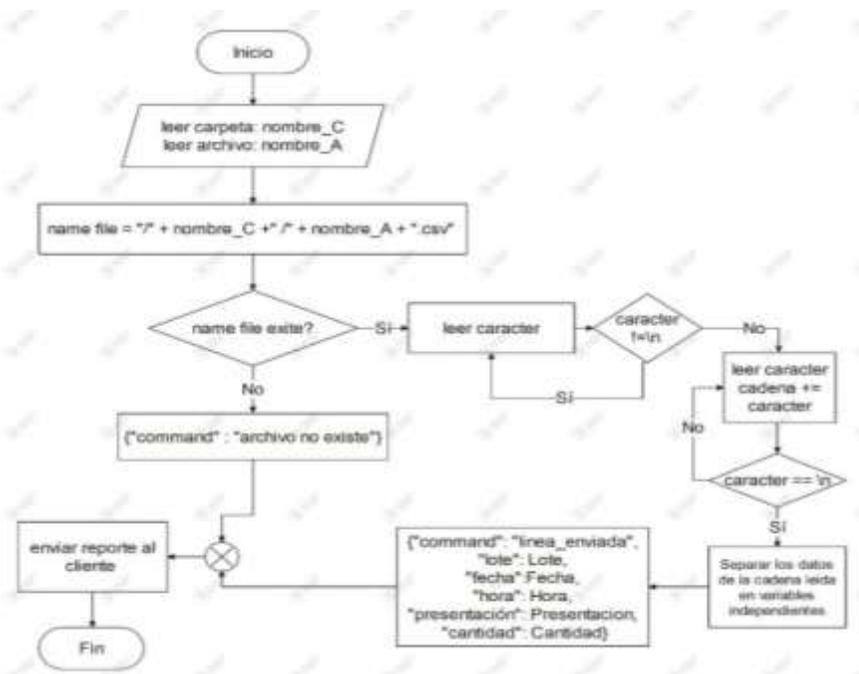


Figura 4.7 Diagrama de Flujo de Reporte Diario.

## 4.2 SOFTWARE DE FUNCIONAMIENTO DEL SERVIDOR WEB PARA MONITOREO REMOTO DEL SISTEMA

En el sistema de monitoreo y control para la producción se implementa un servidor web generado desde la placa ESP-32 el cual tiene como función el monitoreo y acceso al registro de datos del sistema desde un cliente remoto a través de una conexión Wi-Fi.

El sistema de monitoreo remoto se divide en la configuración de conexión inalámbrica Wi-Fi, la configuración del servidor, la comunicación entre cliente y servidor mediante protocolo WebSocket, y la página web que es la que interactúa con el cliente.

### 4.2.1 Configuración de conexión inalámbrica Wi-Fi

La placa Esp-32 posee dos modos de comunicación mediante conexión Wi-Fi. El primer modo es el llamado STA (Modo Estación) en el cual el microcontrolador se configura para conectarse a una red Wi-Fi existente mediante sus parámetros de conexión como lo son el identificador e red (SSID)-y su respectiva contraseña (PASSWORD). En el programa que controla el microcontrolador se crea una función llamada Connect\_WiFi\_STA en la cual se configura la conexión en modo Estación (WiFi\_STA), y se incluyen el SSID y PASSWORD. Mientras no se establezca la conexión se genera un periodo de prueba con el mensaje en

pantalla “Iniciando Conexión”. Una vez se establezca la conexión se indica en pantalla y se muestra la conexión IP necesaria para ingresar.

La comunicación Wi-Fi también puede ser configurada mediante un segundo modo llamado AP (Punto de Acceso). En este modo la placa ESP\_32 crea una Red Wi-Fi propia. Esta red se crea a partir de la función `Connect_WiFi_AP` en la cual se pasa como parámetro el modo `WiFi_AP` y se crea un `SSID` y un `PASSWORD` que permitirá la conexión de otros dispositivos a la red. Al igual que en el modo STA, en este también se genera un periodo de espera mientras no se cree la conexión, visualizándose en pantalla una secuencia de puntos suspensivos. Una vez creado el punto de acceso se mostrará en pantalla la dirección IP necesaria para ingresar a la página web del servidor creado.

Cabe destacar que cualesquiera de estos dos modos deben ser ejecutados desde el *Setup* del programa del microcontrolador para la inicialización de la conexión Wi-Fi.

#### **4.2.2 Configuración del servidor web**

Para la implementación de una página web que funcione como interfaz para monitoreo y control de un sistema se necesita crear un servidor web que pueda alojar los archivos necesarios para su funcionamiento. Si bien es cierto que La ESP-32 puede funcionar como cliente en el proceso de control de un sistema, en la práctica lo más recomendable es utilizarlo en modo servidor ya que de esta manera la página web puede ser alojada de forma, el evitando el uso de internet o de un tercer equipo que opere como servidor.

En este proyecto específicamente se ha optado por configurar como servidor Web asíncrono a la ESP-32 para comunicación inalámbrica pudiendo alojar los archivos necesarios para el sitio web utilizando el sistema de archivos SPIFFS (*SPI Flash File System*) el cual se encarga de gestionar una parte de la memoria Flash interna del ESP-32 para el guardado y gestión de archivos. Se ha decidido utilizar un servidor asíncrono para tener la posibilidad de atender a varios clientes de forma simultánea en el caso que se haga necesario el monitoreo del sistema en tiempo real desde diferentes dispositivos conectados al mismo tiempo.

Para configurar la placa ESP-32 como servidor web asíncrono se hace uso de la instancia `AsyncWebServer` para configurar el servidor asíncrono en el puerto 80 el cual es el más

utilizado. Además, se utiliza la función `InitServer` dentro de la cual se configura el ruteo para contenido estático llamando al sitio web `Index.html` desde la ubicación local del SPIFFS, todo esto mediante la instancia `server.serveStatic`. Por último, se llama el método `server.begin` para iniciar el servidor. La función `InitServer` también debe ser llamada dentro del `Setup` después de la configuración de la red Wi-Fi.

### 4.2.3 Configuración de comunicación mediante Protocolo WebSocket

El protocolo `WebSocket` permite al sistema establecer una comunicación cliente-servidor que permanezca abierta para enviar y recibir mensajes sin necesidad de estar consultando el servidor a cada momento. A su vez esta comunicación se puede implementar de forma asíncrona permitiendo el monitoreo en tiempo real desde todos los clientes conectados.

La comunicación `WebSocket` se establece configurando la funcionalidad tanto del lado del servidor (programa del microcontrolador) como del lado del cliente por medio del archivo `JavaScript` que controla la página web.

El diagrama de secuencia de Red de la comunicación `WebSocket` se presenta en la Figura 4.8 el cual se explica a continuación.

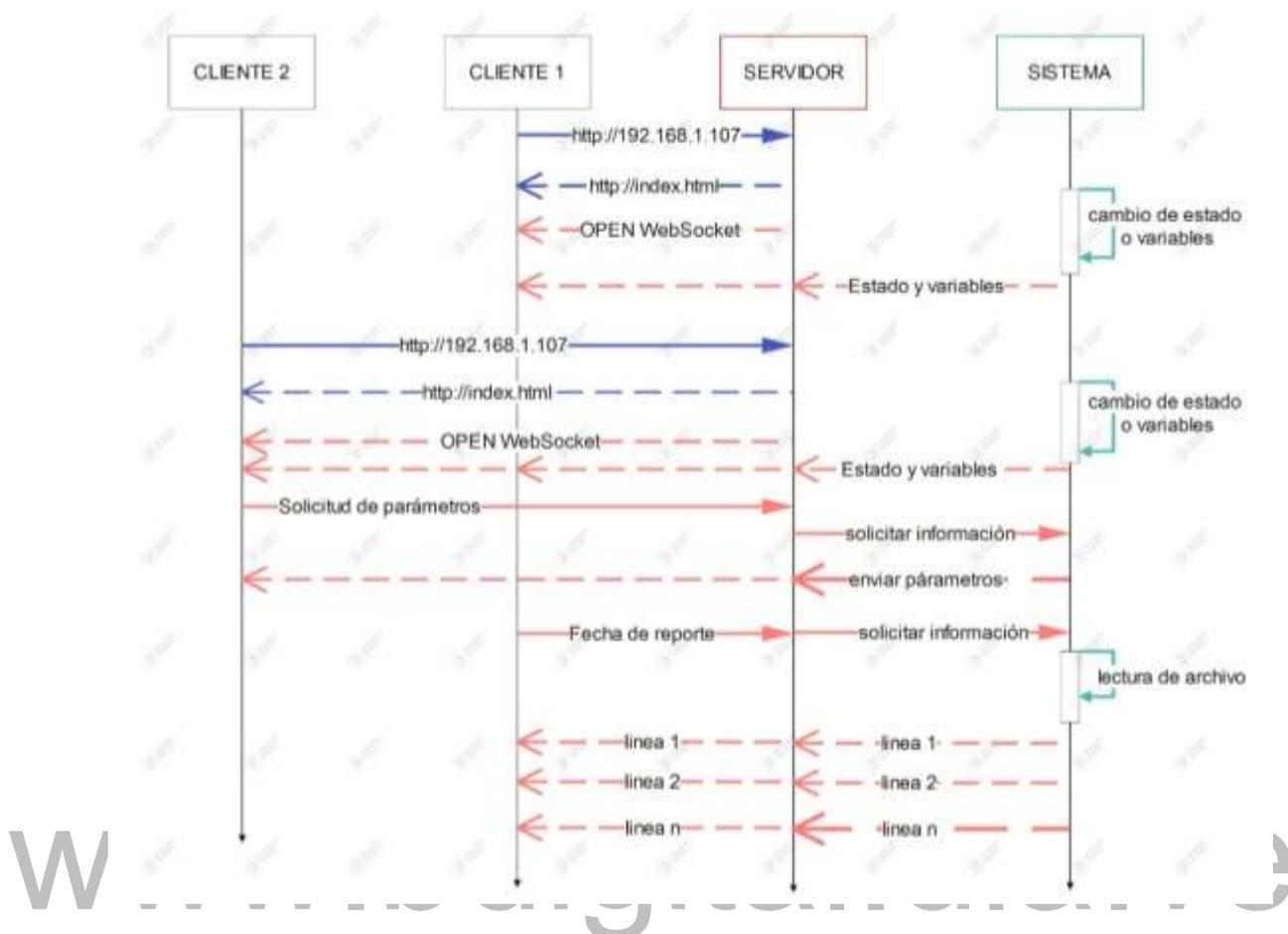


Figura 4.8 Diagrama de Secuencia de Red de la comunicación por WebSocket.

Desde el lado del cliente se inicia la conexión al iniciar una petición http en el navegador con la dirección IP del servidor, el servidor responde con el archivo Index.html al cual está asociado el archivo JavaScript main.js. desde el JavaScript se crea la conexión WebSocket con una variable *conection* a la que se le añade un nuevo WebSocket, pasando como parámetro el URL del servidor. Con este nuevo WebSocket se pueden utilizar algunos métodos asociados a la variable *conection* como *onopen* para saber que el WebSocket ha sido creado, *onerror* que indica si se ha generado un error en el WebSocket, *onmessage* cuando se recibe un mensaje del servidor, *send* para enviar un mensaje al servidor y *onclose* para informar que la conexión WebSocket ha sido cerrada.

Del lado del servidor en el código se configura la función *onWsEvent* la cual se encarga de recibir todos los tipos de eventos enviados desde los clientes. El evento de interés para esta aplicación es *WS\_EVT\_DATA* el cual indica que se ha recibido un mensaje desde el cliente.

Si la función recibe el tipo de evento *WS\_EVT\_DATA* se procede a recibir el mensaje y guardarlo en una variable “msg” para su posterior utilización. Cabe destacar que los mensajes enviados por WebSocket se procesan en formato JSON (*JavaScript Object Notation*) el cual “es un formato basado en texto estándar para representar datos estructurados en la sintaxis de objetos de JavaScript” [47].

El mensaje recibido por WebSocket es pasado como parámetro junto con el identificador del cliente a la función *ProcessRequest* la cual se encarga de procesar el mensaje. Dentro de esta función el mensaje es asignado a un documento JSON y desrealizado para separar en variables independientes cada clave/valor que contiene. En función de las variables contenidas en el mensaje se ejecutarán las funciones que se soliciten para el intercambio de datos entre el cliente y el servidor. Estas funciones se describen más adelante en la sección 4.2.5.

#### **4.2.4 Diseño de la página Web**

Para el monitoreo del sistema electrónico se diseñó una página web que consta de un título, seguido de dos contenedores en horizontal, el primero para visualizar el estado de la máquina y las variables de interés presentes en el estado, siendo esta información solicitada mediante el botón “estado” y cargada de forma dinámica mediante una función de JavaScript. Esta información también es enviada del servidor al cliente cuando se genera un cambio en alguna de las variables del estado actual. El segundo contenedor muestra los parámetros de interés como el factor de calibración y las credenciales de la conexión Wi-Fi (SSID y PASSWORD).

Debajo se encuentra un contenedor para obtener los reportes diarios de la producción del sistema en forma de tabla, los cuales se encuentran alojados en la tarjeta microSD del sistema electrónico.

Este contenedor consta de una etiqueta de entrada de tipo date que al ser presionado genera el calendario del mes en curso para escoger el día a consultar. En la parte de abajo se encuentran dos botones: uno llamado “generar reporte” para solicitar la información del día seleccionado, y un botón llamado “limpiar” que permite limpiar la tabla para cargar nuevos datos.

Le sigue la tabla de datos en donde se visualiza el reporte. De entrada, solo se visualiza el encabezado de la tabla con las celdas: “Lote”, “Fecha”, “Hora”, “Presentación (gr)” y “Cantidad” en el mismo formato que se presentó en la Tabla 3.2 del capítulo anterior. Al solicitar el reporte se desplegará tantas filas como tenga el archivo guardado en la microSD.

Al final de la página se crea una etiqueta “*footer*” para introducir información acerca del creador del sistema e información de contacto.

El estilo y estética de la página web fue diseñado en CSS y se encuentra en el archivo `style.css`. La funcionalidad dinámica de la página web como se mencionó anteriormente corre por cuenta del archivo `main.js`. Esta se presentará más adelante en la sección 4.2.5. Los archivos `style.css` y `main.js` se encuentran alojado en el sistema de archivos SPIFFS de la memoria Flash de la ESP-32 junto al archivo `Index.html` del sitio web.

#### **4.2.5 Funcionalidad dinámica de la página web mediante JavaScript**

Para la parte dinámica de la página web se utilizaron algunas funciones de JavaScript que se encargan de cargar código HTML según sea el requerimiento.

Para el caso del contenedor del estado se usa una función para cada estado en donde se carga un código HTML mediante una etiqueta con el identificador “`mostrar_estado`” en función de la variable recibida desde el servidor. El código HTML cargado se estructura en formato de tabla y en las celdas respectivas se imprimen los nombres y los valores de las variables recibidas a través de identificadores asignados a cada celda. El código HTML y las variables son insertadas mediante la instrucción: `document.getElementById().innerHTML` insertando el identificador dentro del paréntesis de la función.

Adicionalmente se utiliza una función llamada “`generar_tabla`” la cual se utiliza cargar la tabla del reporte con los datos recibidos del almacenamiento desde el servidor. Esta función recibe como parámetro un JSON que contiene las variables de una línea del archivo diario de la microSD. dentro de la función se crea el cuerpo de la tabla, seguidamente la fila en donde se almacena cada celda con el valor de la variable, se crean las celdas una por una y se añade el valor del JSON al que corresponde, y por último la línea se añade al cuerpo de la tabla y mediante el identificador “`cuerpoTabla`” se añade a la etiqueta de tabla del código HTML

principal. Este proceso se repite en función de la cantidad de líneas que posea el reporte solicitado.

Existe una función llamada “limpiar\_tabla” la cual se invoca pulsando el botón “limpiar”. Esta función simplemente añade un carácter vacío al cuerpo de la tabla mediante su identificador.

#### 4.2.6 Procesos de intercambio de información entre servidor y el cliente

Para el monitoreo del sistema electrónico mediante la página web implementa se diseñaron procesos y funciones que permiten la comunicación entre servidor y cliente mediante mensajes en formato JSON. De acuerdo al proceso a realizar se tendrán funciones tanto del lado del cliente (FRONTEND) como del lado del servidor (BACKEND) que van a interactuar por medio de la información compartida entre ellas. A continuación, se definen estos procesos y sus respectivas funciones.

- **Obtención de información de estado:** El estado actual del sistema y sus variables se obtienen como se mencionó en la sección 4.2.4. Del lado de la página web en el JavaScript se encuentra la función `obtener_estado` (Ver Figura 4.9), la cual es invocada por la pulsación del botón antes mencionado. En esta función se construye un objeto Data agregando un par {clave:valor} el cual es `command: "ob_estado"`. Este objeto

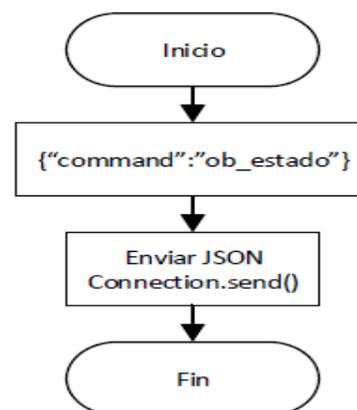


Figura 4.9 Diagrama de flujo de la función `obtener_estado`

se añade a un archivo JSON, y se envía mediante el método `send` de `WebSocket` al servidor. Del lado del servidor en el código del microcontrolador existe una función llamada `ProcessRequest` (Ver Figura 4.10) encargada de procesar todas las solicitudes provenientes del cliente. Esta es llamada desde la función `onWsEvent` al recibir el evento `WS_EVT_DATA` y pasando como parámetro el mensaje recibido. La función `ProcessRequest` toma el mensaje en formato JSON y lo deserializa para descomponerlo en sus pares {clave:valor}. En todos los JSON

enviados existe un par {clave:valor} común llamado *command* en el cual se almacena un comando y en base a su valor se ejecuta una función determinada. En este caso que el valor de *command* es *ob\_estado* se procede a llamar la función *enviar\_estado*, la cual se encarga de evaluar el estado actual de la máquina y guardar en claves: valor de JSON las variables de interés del estado en particular para posteriormente encapsular en un JSON, serializar el mensaje y enviarlo a los clientes mediante el método *ws.textall*.



Figura 4.10 Diagrama de flujo de la función *ProcessRequest*

En cada estado de la maquina la función *enviar\_estado* (Ver Figura 4.11) es ejecutada de forma independiente si se produce algún cambio en las variables de interés. La Tabla 4.1 Variables a enviar al cliente en unción del estado actual del sistema presenta las variables a ser encapsuladas en el JSON en función del estado en el que se encuentra el sistema. Para todos los estados se envían dos variables en común: la cadena de comando: “estado” y la variable ESTADO del sistema del microcontrolador.

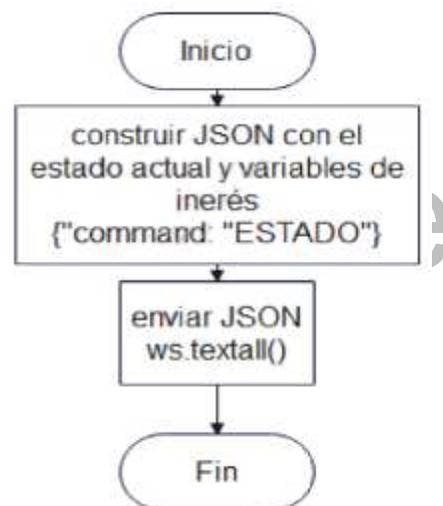


Figura 4.11 Diagrama de flujo de la función *enviar\_estado*

Tabla 4.1 Variables a enviar al cliente en unción del estado actual del sistema

Estado	Variables a enviar
Comprobar	HX711_ok, RTC_ok, mSD_ok
Balanza	peso
Calibración	selec_paso, Escala, ref_calibracion,
Selección	peso_especifico
Pesado	Peso, contador, peso_especifico
Registro	Contador, peso_especifico, lote
Guardado	Nombre_archivo

El JSON es enviado al cliente y es recibido por la función `processData` (Ver Figura 4.12) dentro del JavaScript de la página web. Esta función se encarga de recibir del lado del cliente todos los mensajes enviados por el servidor, deserializar el JSON y direccionar el programa una de las funciones dependiendo del comando recibido en la clave `command`. Si el comando es “estado” se evalúa la variable `estado` y dependiendo de su valor se llama a la función correspondiente. Estas funciones son las responsables de cargar la estructura mencionada en la sección 4.2.5.

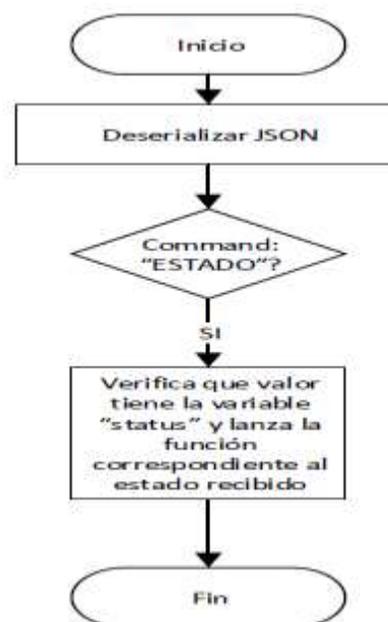


Figura 4.12 Diagrama de flujo de la función `processData`

**Obtención de los parámetros de interés:**

este proceso se ejecuta para obtener información sobre el factor de calibración, y las credenciales de red. El proceso similar al anterior, se genera con la pulsación del botón “Parámetros” el cual lanza la función `obtener_parametros`. Esta función crea un JSON para enviar al servidor el comando “`obt_parametros`”. Ver Figura 4.13.

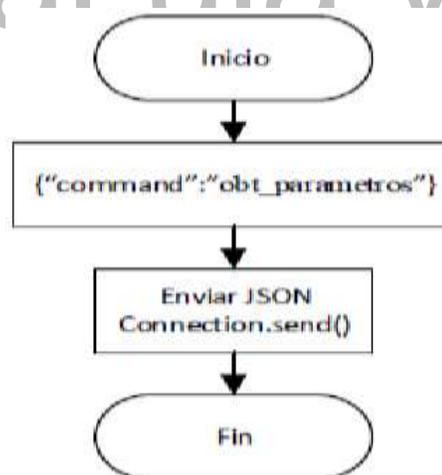


Figura 4.13 Diagrama de flujo de la función `obt_parametros`

La función `ProcessRequest` evalúa el comando recibido y al detectar que es “`obt_parametros`” llama a la función `enviar_parametros`. Ésta se encarga de construir un JSON con las variables `escala`, `ssid` y `password` junto al comando “`parámetros`”. El JSON en este caso es enviado solo al cliente que lo solicita.

El mensaje es enviado al servidor y recibido por la función `processData` presentada anteriormente. La función evalúa el comando y al detectar el valor “parámetros” lanza en el JavaScript la función `mostrar_parámetros`, que carga el contenido HTML en el contenedor respectivo mostrando los valores solicitados.

- **Generación de reporte diario de producción:** Para el reporte de producción diario se coloca en la página web una etiqueta *input* del tipo `Date` con el identificador: `fecha_reporte`, la cual despliega un calendario mensual y permite seleccionar el día específico. Un botón llamado “Generar Reporte” ubicado debajo del *input* de fecha se utiliza para invocar la función `Generar_Reporte`. Esta se encarga de tomar el valor generado por el *Input* de tipo *Date* y lo utiliza para generar dos variables: una para la fecha en el formato `00/00/00` utilizada para el nombre del archivo a consultar y otra donde se almacena el mes y año que se necesita para indicar la ruta del archivo. Estas variables se guardan en un objeto JSON junto al comando “solicitar\_reporte”, se serializa el documento y es enviado al servidor.

Dentro del servidor, El JSON enviado por la función `Generar_Reporte` es recibido y deserializado por `ProcessRequest`. Al detectar el comando “solicitar\_reporte” la función `ejecutar_reporte` es llamada pasando como parámetros la fecha solicitada y el mes y año para la ruta del archivo. En la Figura 4.14 se presenta el diagrama de flujo de la Función `Ejecutar_Reporte` el cual se explica posteriormente.

Dentro de la función `ejecutar_reporte` se construye el nombre del archivo con la variable `fecha` concatenada a la variable `mes` junto a la extensión del archivo. Con el nombre del archivo creado se solicita abrir el archivo a ser leído. Si abre exitosamente se procede a leer la primera línea del archivo y guardar en una cadena de caracteres, esta cadena se separa para obtener cada dato del archivo en forma independiente y se construye un JSON con todas las variables del registro y el comando “línea\_enviada”. Se serializa el JSON y se envía al servidor. El proceso de lectura y envío se repite tantas veces como líneas contenga el archivo.

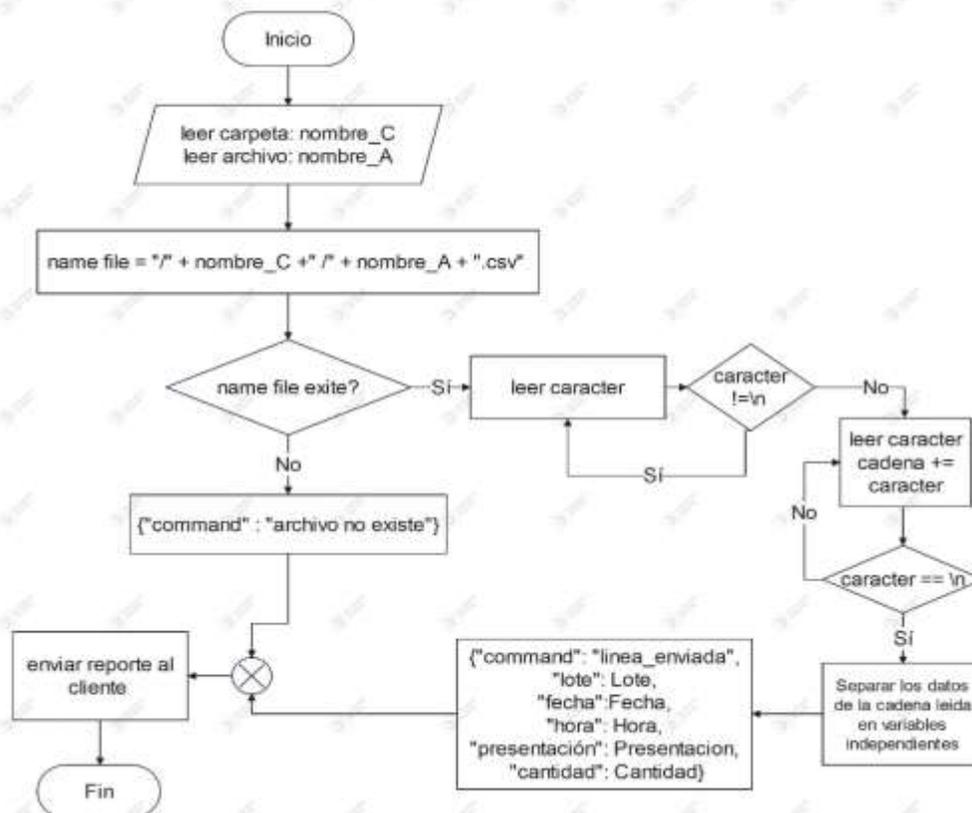


Figura 4.14 Diagrama de flujo de la función ejecutar\_Reporte.

El archivo JSON con las variables de la línea leída es recibido en el cliente y dentro de la función ProcessRequest se detecta el comando “línea\_enviada” y se lanza la función generar\_tabla. Esta función recibe el JSON e inicialmente crea el cuerpo de la tabla y es asociado a la etiqueta “tabla” del código HTML. Se crea la primera línea que contendrá los valores de las variables, se crea cada celda, se añade su valor respectivo y se agregan consecutivamente a la línea. al completar toda la línea de datos esta se añade al cuerpo de la tabla y finalmente el cuerpo se agrega a la tabla para su visualización en pantalla, con cada JSON de línea enviada que es recibido se repite el proceso mientras existan líneas en el archivo alojado en la microSD.

# CAPITULO 5

## RESULTADOS

### 5.1 SENSOR DE PESADO

#### 5.1.1 Obtención del factor de calibración

la lectura entregada por el sensor de medición es un valor al cual se le debe establecer una escala para saber interpretar que se está pesando. Para efectos de este proyecto, la escala se ha establecido en gramos, por lo tanto, el peso de calibración para la obtención de la medida debe ser presentado en estas unidades.

Para el proceso de calibración se utilizó 3 valores de peso: 1000 gr, 2000 gr y 2500 gr. Estos pesos se consiguieron mediante la combinación de distintos pesos de calibración de laboratorio los cuales se muestran en la Figura 5.1. Adicionalmente se ejecutó una medida de pesado para cada valor de escala para calcular el error de medición y determinar cuál escala ofrece la medición más exacta.



*Figura 5.1 Pesos de calibración.*

Los resultados de las escalas se presentan en la Tabla 5.1 Escalas obtenidas para diferentes pesos de calibración

Tabla 5.1 Escalas obtenidas para diferentes pesos de calibración

Peso de Calibración (gr)	Escala	valor verdadero (gr)	Valor medido (gr)	Error absoluto (gr)
1000	210.41	500	500	0
2000	210.40	500	500	0
2500	210.59	500	500	0

### 5.1.2 Obtención de la curva de calibración

una vez obtenida la escala más adecuada para la medición, es necesario obtener la curva de calibración para determinar la linealidad del sensor. Esta curva de calibración se realiza mediante una curva de histéresis realizando una serie de mediciones en forma ascendente y descendente. Para esta prueba se tomaron 40 medidas en ascenso y 40 medidas en descenso. La Tabla 5.2 muestra los resultados para peso utilizado, el valor medido en ascenso, descenso, error absoluto en gramos y error relativo porcentual.

Tabla 5.2 Resultados de medición de peso en ascenso y descenso.

valor real(gr)	Subida (gr)	Bajada (gr)	Diferencia (gr)	error absoluto subida (gr)	error absoluto bajada (gr)
10	9	10	1	1	0
70	70	70	0	0	0
130	130	130	0	0	0
180	180	180	0	0	0
250	250	250	0	0	0
310	310	310	0	0	0
370	370	370	0	0	0
430	430	430	0	0	0
500	500	500	0	0	0
560	560	560	0	0	0
620	620	620	0	0	0
670	670	670	0	0	0
730	730	730	0	0	0
800	800	800	0	0	0
850	850	850	0	0	0
900	900	900	0	0	0
970	970	970	0	0	0
1000	1000	1000	0	0	0

valor real(gr)	Subida (gr)	Bajada (gr)	Diferencia (gr)	error absoluto subida (gr)	error absoluto bajada (gr)
1070	1070	1070	0	0	0
1100	1100	1100	0	0	0
1150	1150	1150	0	0	0
1220	1220	1220	0	0	0
1270	1270	1270	0	0	0
1300	1300	1300	0	0	0
1370	1370	1371	1	0	1
1450	1450	1450	0	0	0
1520	1520	1520	0	0	0
1570	1570	1570	0	0	0
1600	1600	1600	0	0	0
1700	1700	1700	0	0	0
1750	1750	1750	0	0	0
1800	1800	1800	0	0	0
1850	1850	1850	0	0	0
1900	1900	1900	0	0	0
1950	1950	1950	0	0	0
2000	2000	2000	0	0	0
2100	2100	2100	0	0	0
2200	2200	2200	0	0	0
2300	2300	2300	0	0	0
2400	2400	2400	0	0	0
2500	2500	2500	0	0	0

Como se puede verificar en la Tabla 5.2 el error más grande se presenta en la medición del valor utilizado más bajo (10 gr) con un error absoluto de 1 gr representando un error relativo del 10%. Esto indica que posiblemente para valores menores a 70 gr la medida no es precisa, y se debe al tipo de celda utilizada en el proyecto que es de 10 Kg. Sin embargo, el sistema ha sido dimensionado para producir empaques de 100 gr en adelante y para esta medida la diferencia de 1 gr representa solo el 1% de error relativo el cual es más que aceptable para el proceso de producción.

Con los valores de la Tabla 5.2 se construyó en Excel la curva de histéresis de la celda de carga obteniendo además las ecuaciones características de cada recta, la cual se presenta en el Gráfico de la Figura 5.2.

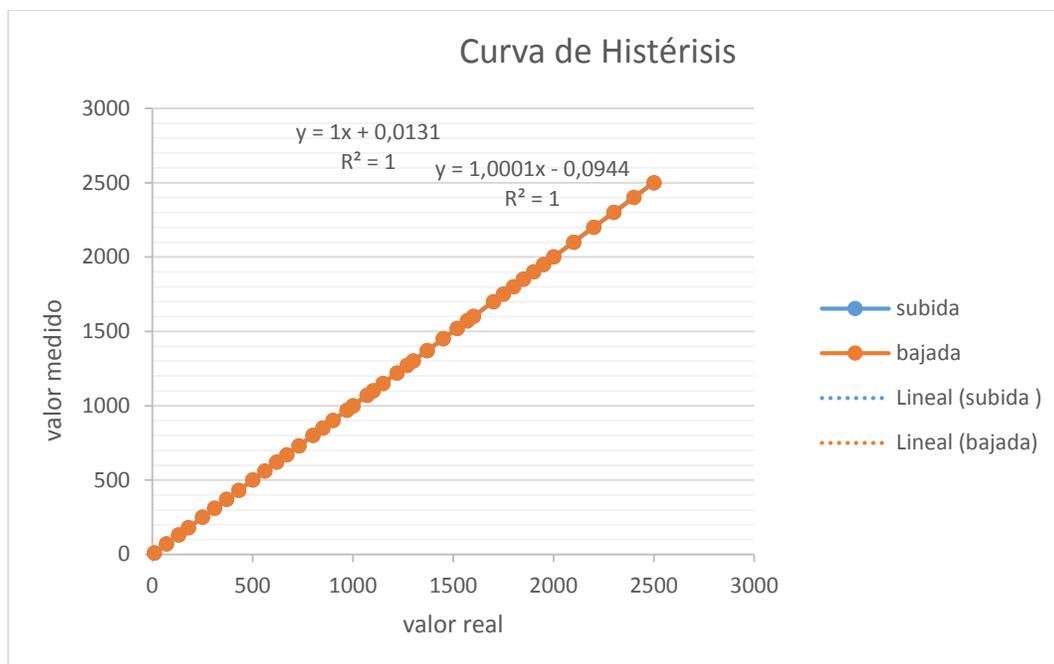


Figura 5.2 Curva de histéresis de la celda de carga para la medición de Peso.

Observando la gráfica de la Figura 5.2 *Curva de histéresis de la celda de carga para la medición de Peso*, se puede observar que la curva en ascenso y descenso de la medición de la celda de carga son perfectamente rectas y se superponen casi por completo una a la otra indicando una ventana de histéresis nula. Esto demuestra la fiabilidad del instrumento para tomar mediciones correctas en el rango establecido.

De la Figura 5.2 se extrae la ecuación (5.1) correspondiente a la recta de subida y la ecuación (5.2) correspondiente a la recta de bajada.

$$Y = 1.0001 \cdot X + 0.0944 \quad (5.1)$$

$$Y = 1 \cdot X + 0.0131 \quad (5.2)$$

Analizando la ecuación (5.1) se observa que el valor: 0.0944 correspondiente al corte con el eje Y representa el valor de *Offset* que generó la medición en flanco ascendente. Este valor indica que el instrumento de pesado en vacío genera una medición de 0.0944 gramos o 9.44 miligramos. Lo que representa un 0.09% de la referencia de empaclado más baja del proceso de producción (100 gr). La ecuación (5.2) indica un valor de *Offset* de 0.0131 gr o 13.1 miligramos, ligeramente mayor que el valor anterior representando un 0.13% de la referencia

de 100 gr. en promedio se puede afirmar que el *Offset* del instrumento de pesado se encuentra alrededor de 0.01 gr, un valor 100 veces menor que la resolución del instrumento que es de 1 gr.

### 5.1.3 Comparación de los valores medidos vs. valores verdaderos

Se estableció una comparación entre valores verdaderos vs. Medidos utilizando la curva de calibración presentada en el Gráfico 5.1 tomando valores que no fueron utilizados para la construcción de la curva. El valor verdadero se calculó utilizando las ecuaciones (5.1) y (5.2).

La Tabla 5.3 muestra la comparación entre valores verdaderos y valores medidos.

*Tabla 5.3 Comparación de valores medidos vs. Valores verdaderos obtenidos de la curva de calibración*

Valor verdadero (gr) Peso de Calibración	Valor (gr) Curva de Calibración	Valor Medido (gr)	Error absoluto (gr)	Error relativo (%)
50	50,0131	50	0,01310	0,03%
100	100,0131	100	0,01310	0,01%
200	200,0131	200	0,01310	0,01%
450	450,0131	450	0,01310	0,00%
700	700,0131	700	0,01310	0,00%
950	950,0131	950	0,01310	0,00%
1500	1500,0131	1500	0,01310	0,00%
2050	2050,0131	2050	0,01310	0,00%
2350	2350,0131	2350	0,01310	0,00%

Como se puede notar en la Tabla 5.3, el error absoluto respecto a los valores de la curva de calibración es de 13.1 mgr correspondiente al *Offset* de la balanza, lo cual es un valor insignificante en la medida, a su vez que el error relativo mayor es de solo 0.3%. Si se observa con detenimiento, se evidencia que el error de la medición respecto a los pesos de calibración es inexistente ya que los valores son exactamente iguales. Este resultado reafirma el buen funcionamiento del sistema de pesado.

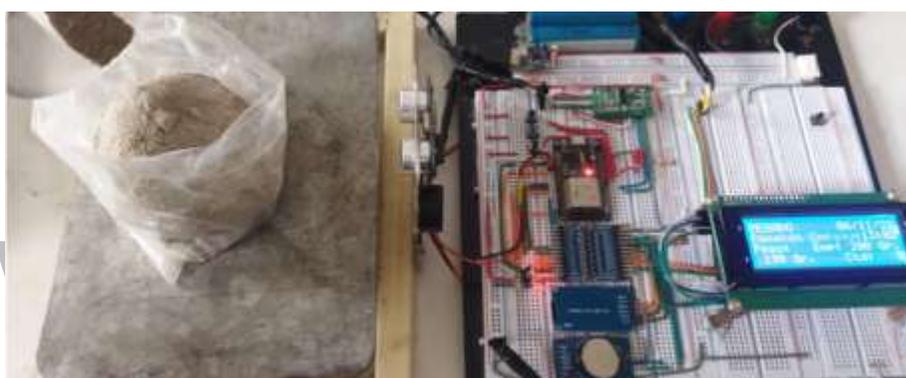
## 5.2 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE PRODUCCION

Para el sistema de producción se ejecutó una prueba de pesado, empaquetado y registro en el que se pesó empaques de 100 gr, 200 gr, 500 gr y 1000gr, en total 10 empaques por presentación. Luego de pesar los empaques y guardar el registro en la microSD se verificó mediante la Función **BALANZA**, el peso de cada uno de los empaques producidos.

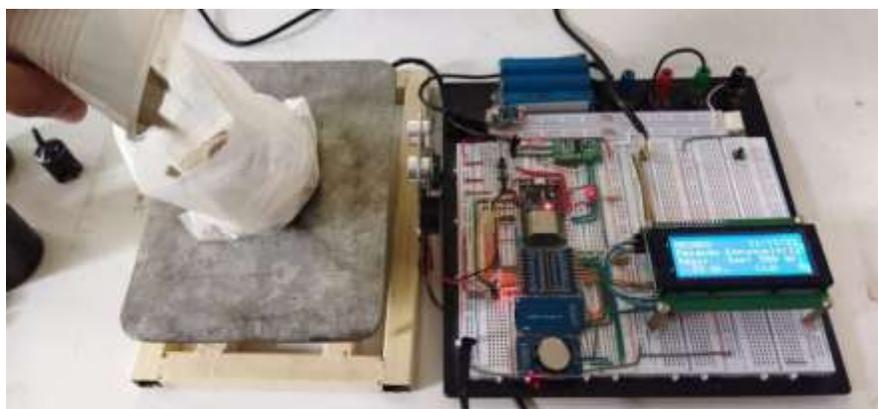
En las Figuras 5.3, 5.4, 5.5 y 5.6 se muestra el proceso de pesado para cada tipo de empaque.



*Figura 5.3 Proceso de pesado para empaques de 100 gr.*



*Figura 5.4 Proceso de pesado para empaques de 200 gr.*



*Figura 5.5 Proceso de pesado para empaques de 500 gr.*



Figura 5.6 Proceso de pesado para empaques de 1000 gr.

Los datos se registraron en la Tabla 5.4 Proceso de producción de Empaques de 100, 200, 500 y 1000 gr., la cual se presenta a continuación.

Tabla 5.4 Proceso de producción de Empaques de 100, 200, 500 y 1000 gr.

N° DE Producto	Present. de 100 gr	Error %	Present. de 200 gr	Error %	Present. de 500 gr	Error %	Present. de 1000 gr	Error %
1	100	0,00%	198	1,00%	504	0,80%	999	0,10%
2	101	1,00%	197	1,50%	498	0,40%	999	0,10%
3	100	0,00%	201	0,50%	499	0,20%	1005	0,50%
4	101	1,00%	200	0,00%	501	0,20%	997	0,30%
5	100	0,00%	200	0,00%	498	0,40%	1000	0,00%
6	100	0,00%	199	0,50%	501	0,20%	1005	0,50%
7	101	1,00%	200	0,00%	499	0,20%	996	0,40%
8	104	4,00%	201	0,50%	495	1,00%	1009	0,90%
9	102	2,00%	201	0,50%	496	0,80%	999	0,10%
10	104	4,00%	203	1,50%	503	0,60%	996	0,40%
<b>valor prom.:</b>	101,3	1,30%	200	0,60%	499,4	0,48%	1000,5	0,33%

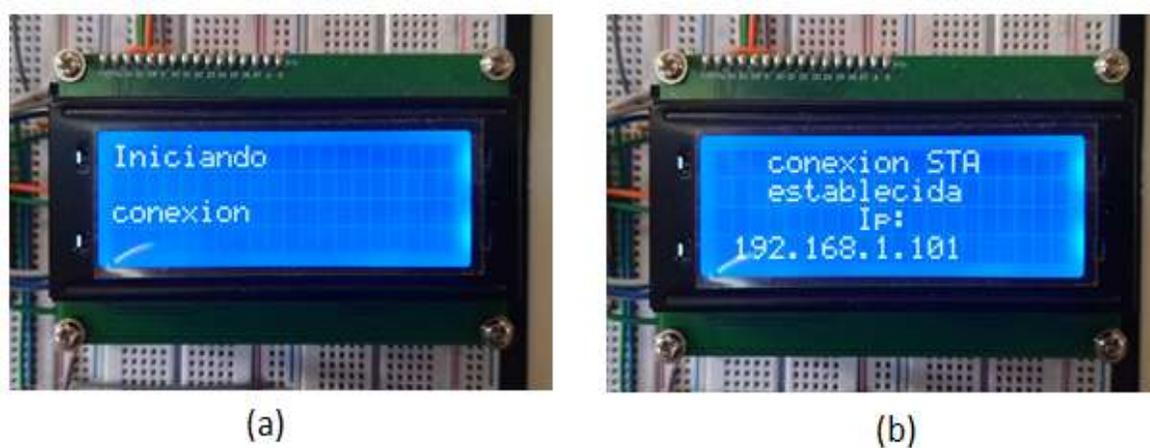
La Tabla 5.4 muestra que para el proceso de producción las cantidades no fueron exactas, sin embargo, al calcular el error absoluto de cada medición se puede apreciar que el error máximo fue del 4% en empaque de 100 gr, este error se encuentra dentro del máximo permitido ( $\pm 5\%$ ) pero al observar el resto de los resultados, en la mayoría de los casos el error relativo no supera el 1% lo que indica una exactitud bastante acertada en cuanto a las referencias. Cabe destacar que el error que se genera por encima del valor referencial puede deberse a que, aunque el dispensado es detenido en cuanto el sistema detecta el peso dentro del intervalo de tolerancia de la referencia, en el camino queda una pequeña porción de producto que cae en el dispensado, y esa pequeña porción puede hacer que se supere el valor

de referencia en el contenido del empaque. Esta porción adicional variará en función de la velocidad de dispensado del producto.

### 5.3 FUNCIONAMIENTO DEL SERVIDOR WEB

#### 5.3.1 Conexión Wi-Fi

Para la comunicación Wi-Fi se utilizó el modo estación (STA) para conectarse a una red local generada por un enrutador. En la Figura 5.7 se muestra el inicio del proceso de conexión del sistema y el resultado de la conexión en donde se muestra la dirección IP asignada por el enrutador.



*Figura 5.7 a) Inicio del proceso de conexión Wi-Fi b) Resultado del proceso de conexión Wi-Fi mostrando la dirección IP asignada*

Como se puede observar en la Figura 5.7 (a) y (b) el proceso de conexión de la red inalámbrica se realiza de manera perfecta. La dirección IP impresa en la pantalla es la que se escribe en el navegador para acceder a la interfaz web del sistema y poder monitorearlo remotamente.

#### 5.3.2 Funcionamiento de la Página Web

La página web implementada se presenta en la Figura 5.8 en que se aprecian todas las partes del sitio bien identificadas y funcionando perfectamente. Nótese en el campo de dirección web del navegador la dirección IP para su acceso que coincide con la entregada en la Figura 5.6 (b) del apartado anterior.

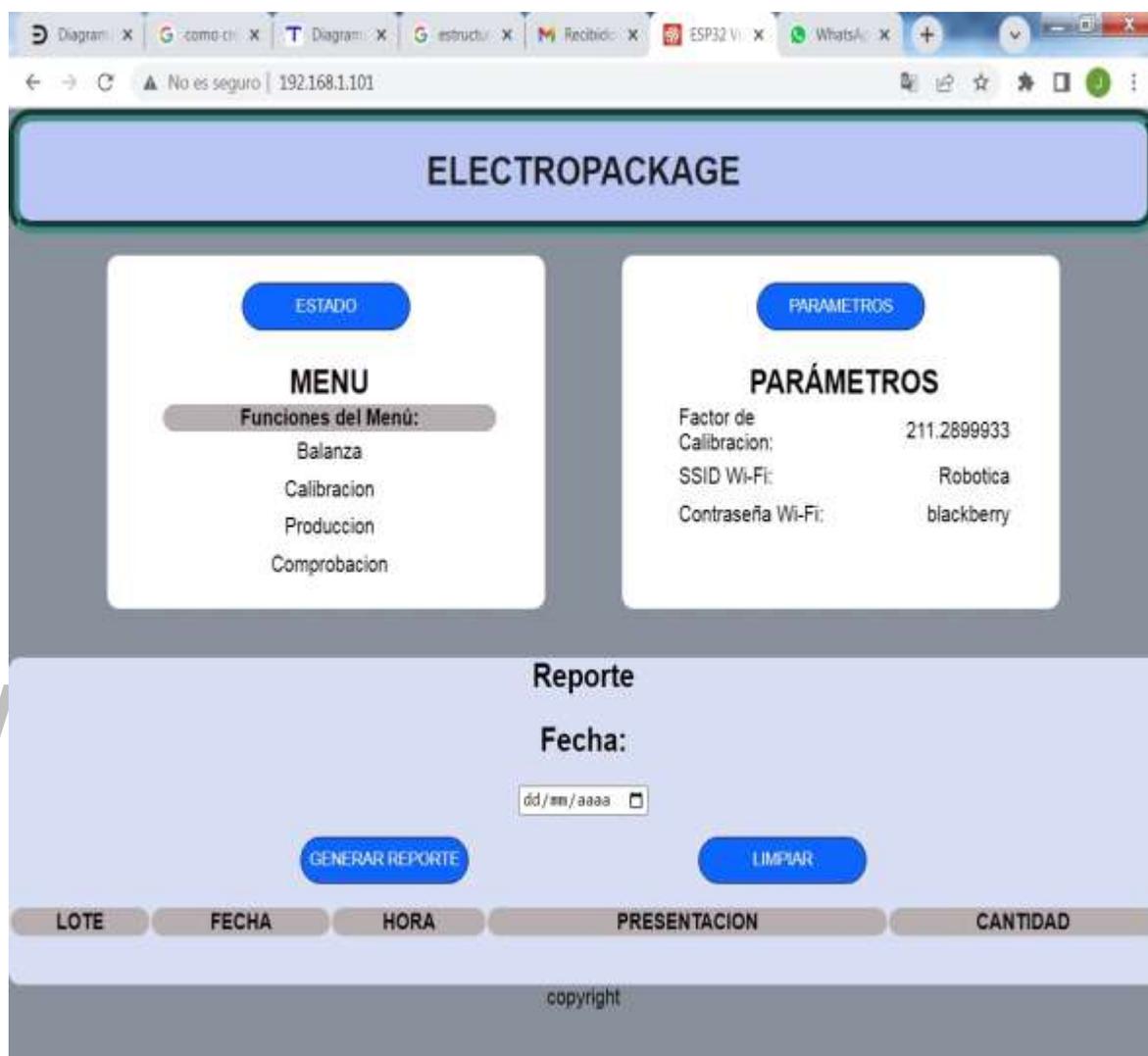


Figura 5.8 Funcionamiento de la página web implementada para el monitoreo del sistema.

### 5.3.3 Monitoreo de los estados del sistema.

Los principales estados del sistema junto a las variables de interés se presentan en la Figura 5.9. Para el estado BALANZA se muestra la variable Peso con una cantidad de 1000 gr. En el estado comprobar se observa las 3 variables de verificación en un valor “true” lo que indica que funcionan perfectamente. Para el estado de selección se verifica que la referencia se encuentra en 500 gr. con respecto a pesado muestra las variables de peso (500 gr), cantidad (5 unidades) y presentación (500 gr), todas estas variables involucradas en el proceso de

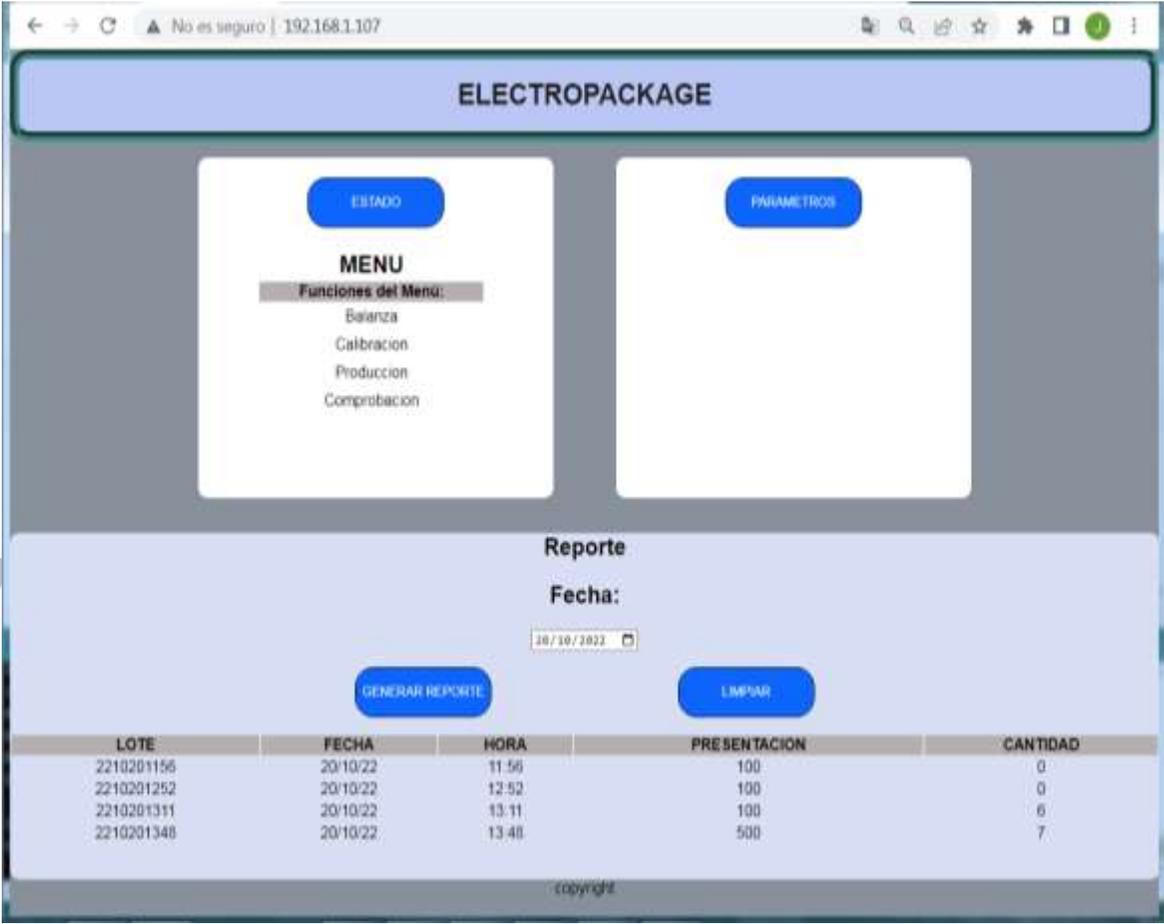
producción. En cuanto a registro se presentan las variables de cantidad, presentación y lote, esta última generada a partir de la fecha y hora en la que culmina el proceso de envasado. Por último, se puede notar el estado de Guardado en el que se muestra el nombre del archivo escrito con la fecha del día en que fue creado.



Figura 5.9 (a) Estado de BALANZA, (b) Estado COMPROBAR, (c) Estado SELECCIÓN, (d) Estado de PESADO, (e) Estado de REGISTRO y (f) Estado de GUARDADO.

### 5.3.4 Solicitud del Reporte diario de Producción

Para verificar el reporte de producción se utilizó un archivo de prueba generado el día 20/10/2022 donde se muestran 4 ítems correspondientes a 4 Lotes registrados ese día. La página web con el resultado del reporte solicitado se muestra en la Figura 5.10.



The screenshot displays the 'ELECTROPACKAGE' web application interface. At the top, there is a navigation bar with the title 'ELECTROPACKAGE'. Below this, there are two main panels: 'ESTADO' and 'PARAMETROS'. The 'ESTADO' panel contains a 'MENU' section with the following functions: Balanza, Calibracion, Produccion, and Comprabacion. The 'PARAMETROS' panel is currently empty. Below these panels, there is a 'Reporte' section with a 'Fecha:' label and a date input field set to '20/10/2022'. There are two buttons: 'GENERAR REPORTE' and 'LIMPIAR'. At the bottom, a table displays the production report data.

LOTE	FECHA	HORA	PRESENTACION	CANTIDAD
2210201156	20/10/22	11:56	100	0
2210201252	20/10/22	12:52	100	0
2210201311	20/10/22	13:11	100	6
2210201348	20/10/22	13:48	500	7

Figura 5.10 Reporte diario de producción generado en el sitio Web del sistema

Observando la Figura 5.9 se observa que el reporte solicitado ha sido entregado correctamente mostrando la información en pantalla.

## 5.4 PROTOTIPO FÍSICO DEL SISTEMA

la implementación física del prototipo diseñado del Sistema para el Monitoreo y Control de la producción de café en una dosificadora de polvos y granulados se presenta en la Figura 5.11 en la que se señala cada uno de los componentes que lo conforman.

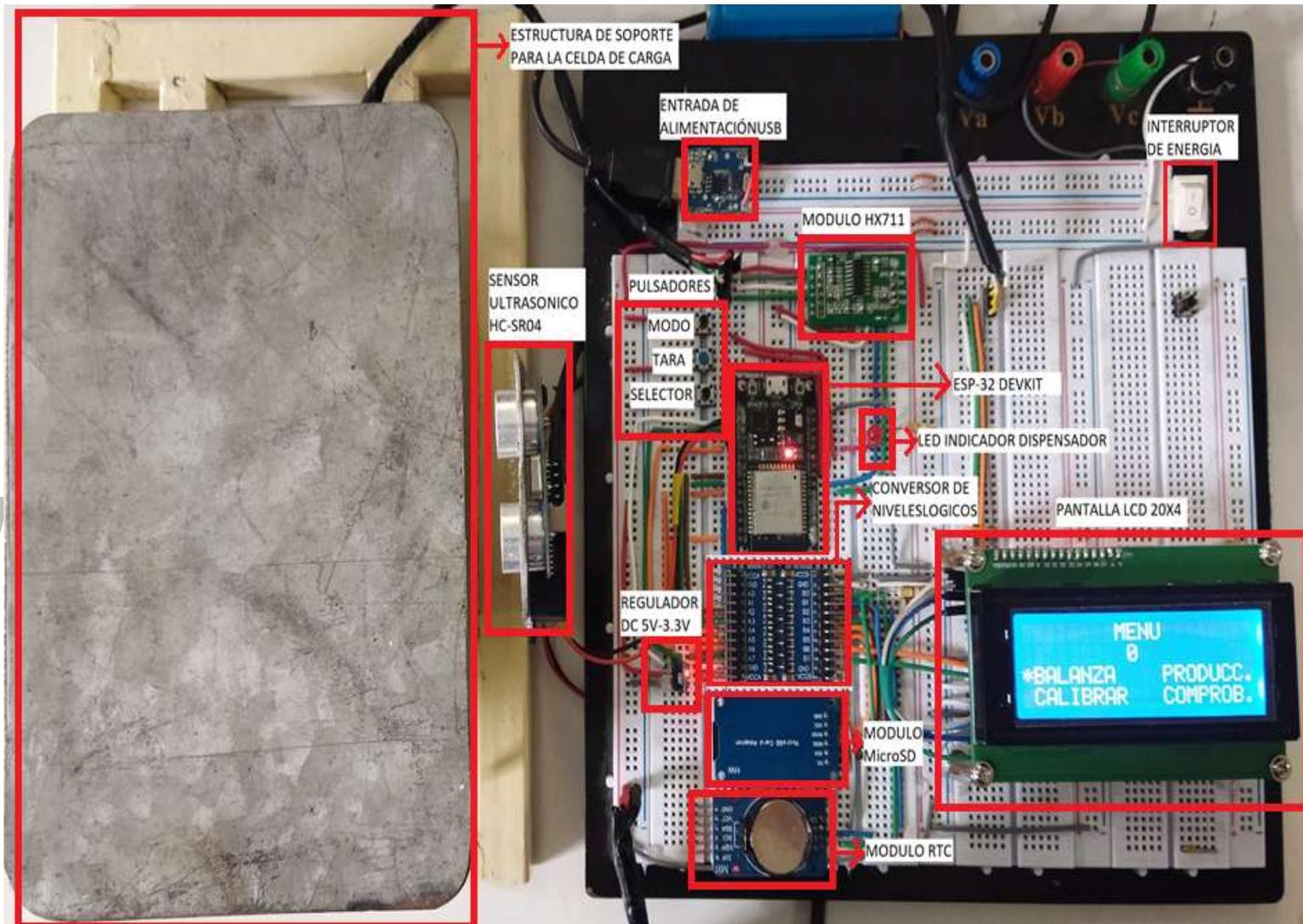


Figura 5.11 Prototipo Físico del diseño del Sistema para Monitoreo y Control de la producción de Café.

## 5.5 FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL SISTEMA DISEÑADO

Para verificar la factibilidad económica del prototipo se presenta en la Tabla 5.5 el costo aproximado de los componentes utilizados para su elaboración.

*Tabla 5.5 Costos de los componentes empleados para fabricar el sistema electrónico.*

CANTIDAD	COMPONENTE	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
1	ESP-32 DEVKIT V1 [48]	3.70	3.70
1	Pantalla LCD 20X4 I2C [49]	5.33	5.33
1	módulo HX711 con celda de carga 10Kg [50]	1.85	1.85
1	Estructura de soporte para la celda	10	10
1	Entrada de alimentación MicroUSB [51]	1	1
1	Interruptor de energía [52]	0.6	0.60
1	Regulador DC 5V-3.3V [53]	0.60	0.60
1	Fuente de Alimentación 110 VAC - DC 5V 1A [54]	2.6	2.60
3	Pulsadores [55]	0.07	0.21
1	Convertor de niveles lógicos 8 canales (5v-3.3v) [56]	2.05	2.05
1	Módulo MicroSD [57]	1.06	1.06
1	Tarjeta MicroSD 2GB [58]	2.60	2.60
1	Módulo RTC DS3231 [59]	1,28	1.28
1	Sensor Ultrasónico HC-SR04 [60]	0.91	0.91
1	LED rojo [61]	0.025	0.025
3	Resistencias [62]	0.015	0.045
2	PCB [63]	2	4
1	Envío E.E.U.U. – Venezuela [64]	5.13	5.13
<b>TOTAL(USD):</b>			<b>42.99</b>

Los costos presentados en la Tabla 5.5 se refieren a piezas traídas por medio de **AliExpress** desde China. El costo de cada componente ya incluye la tarifa de envío China – E.E.U.U., se muestra también el costo de Envío desde E.E.U.U. a Venezuela. Se observa además que el costo total de los componentes para una unidad del sistema electrónico es de USD 42.99; con este dato se puede afirmar que el sistema es un proyecto factible debido a su bajo costo de producción si lo comparamos con sistemas automatizados presentes en la industria como el caso de los Controladores lógicos Programables (PLC'S) los cuales pasan la barrera de los USD 100 en el caso del más básico como el SIEMENS LOGO V8 [65] y sin tener las especificaciones que tiene el sistema diseñado. Por otro lado, no existe en el mercado nacional un sistema similar, ni con las mismas prestaciones orientado al sector del empaquetado, lo cual lo convierte en producto atractivo competitivo y exclusivo sobre todo en el mercado del comercio a pequeña escala.

## CONCLUSIONES

La utilización del sistema de medición mediante el uso de una celda de carga mostró excelentes resultados los cuales fueron presentados en el capítulo 5 indicando que este tipo de sensores es una buena opción de aplicación en el sistema electrónico diseñado. Para el proceso de calibración, ejecutando mediciones de prueba se obtuvo un error absoluto de 0 gramos representando una buena exactitud respecto a los pesos patrones. Por otro lado, la curva de calibración (Figura 5.2) presentó una buena linealidad mostrando coincidencia entre casi todos los valores de la medición, a su vez se observó la superposición casi por completo entre la recta ascendente y la descendente, el error absoluto más grande fue de 1 gramo en la medición para un peso de 10 gramos, sin embargo en cantidades iguales o mayores a 100 gramos este error solo representa el 1% de error relativo lo cual es más que aceptable para la aplicación diseñada. En cuanto al proceso de empaquetado se observó en la sección 5.2 de la funcionalidad de producción que la prueba realizada arrojó un error relativo máximo de 4% lo cual se encuentra dentro del rango aceptado para este proceso ( $\pm 5\%$ ) y se explicó la causa posible de ese error, sin embargo, se registró un error relativo promedio máximo de 1.30%, un error bastante bajo a comparación del error máximo permitido.

En este sentido, el sistema electrónico para monitoreo y control de empaquetado de café implementado en el presente trabajo de Grado es un sistema adaptado a las necesidades planteadas al inicio de la investigación, porque proporciona estabilidad y bajos errores de medición en el proceso de pesado, generando un resultado más que suficiente para el proceso al cual fue diseñado. Su funcionamiento en cuanto a velocidad de respuesta es suficiente para las exigencias planteadas.

El registro de datos funciona de manera correcta y permite llevar el control de producción de una manera sencilla y dinámica.

Respecto al apartado de la interfaz inalámbrica se consiguió un resultado aceptable en cuanto al monitoreo del sistema y el acceso a la información de los registros de datos.

Es importante resaltar, que el diseño del proceso de medición de los sensores debe hacerse con sumo cuidado y siguiendo los protocolos necesarios para obtener la medición precisa ya que omitir detalles puede llevar a errores en los resultados esperados.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## RECOMENDACIONES

- Utilizar instrumentos patrones con mejores prestaciones: sensibilidad, resolución, exactitud para una mejor calibración del sistema de pesado.
- Agregar al sistema electrónico de monitoreo y control un módulo de carga y una batería de celdas de litio como respaldo eléctrico frente a posibles interrupciones de energía eléctrica, también se puede agregar un sistema de respaldo comercial como el caso de un *PowerBank* debido a su compatibilidad en el voltaje de alimentación (5V) y su bajo costo.
- Realizar un estudio a profundidad de la funcionalidad multinúcleo de la ESP-32 para separar las tareas del sistema electrónico de medición y control de las tareas de comunicación inalámbrica aprovechando cada uno de los núcleos
- En el apartado de la interfaz web agregar la opción de solicitar reportes mensuales sobre la producción y la posibilidad de modificar las credenciales Wi-Fi necesarias para la conectividad inalámbrica.
- Articular con la escuela de ingeniería mecánica un proyecto para el diseño de una empacadora completamente automatizada añadiéndole el sistema electrónico de monitoreo y control diseñado en este proyecto.
- Añadir al programa del microcontrolador la funcionalidad de “sueño profundo” como un estado de ahorro de energía mientras el sistema permanezca inactivo, evitando la necesidad de apagarlo manualmente..

## REFERENCIAS

- [1] M. Balestrini Acuña, Como se elabora el proyecto de investigación, Séptima ed., Caracas, Distrito Capital: BL Consultores Asociados. Servicio Editorial., 2006, p. 8.
- [2] R. Dubs, «El proyecto Factible: una modalidad de investigación,» *Sapiens*, vol. 3, n° 2, p. 7, 2002.
- [3] K. Sarzosa, «Diseño y Construcción de una Dosificadora de Granos Secos,» Quito, 2017.
- [4] L. Puchi, J. Villasmil y J. Villasmil, «Sistema Automatizado para el Empacado y Despacho de Productos en Granos y Granualdos,» Maracibo, 2018.
- [5] E. Casa, «Diseño de una máquina automática dosificadora por peso para productos secos con volúmenes irregulares,» Quito, 2019.
- [6] B. Parra, «Diseño e implementación de una dosificadora de condimentos para la línea de producción de la compañía Trebol S.A.S,» Bogotá, 2021.
- [7] O. Bertoglio, Introducción a la teoría general de sistemas, México: Editorial LIMUSA S.A., 1993.
- [8] M. Perez, A. Perez y Perez Elisa, «DEA- Departamento de Electrónica y Automática, Facultad de Ingeniería, UNSJ,» 2007. [En línea]. Available: <http://dea.unsj.edu.ar/control1/apuntes/unidad1y2.pdf>. [Último acceso: 16 febrero 2022].
- [9] «Logicbus,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.logicbus.com.mx/automatizacion.php>. [Último acceso: 20 Febrero 2022].
- [10] Á. Oviedo, «Diseño y construcción de un dosificador de granos secos,» Ambato, 2012.
- [11] «Grupo Span,» [En línea]. Available: [https://www.grupospan.es/wp-content/uploads/2018/08/GRUPOSPAN\\_Dosificador\\_VOLUMETRICO.pdf](https://www.grupospan.es/wp-content/uploads/2018/08/GRUPOSPAN_Dosificador_VOLUMETRICO.pdf). [Último acceso: 24 Febrero 2022].
- [12] «ROZA-GRAPI.SA,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.rozagrapisa.com/index.php?route=blog/post&post\\_id=159](https://www.rozagrapisa.com/index.php?route=blog/post&post_id=159). [Último acceso: 24 Febrero 2022].

- [13] J. Sánchez, «Dcbi Universidad Autónoma Metropolitana,» 2019. [En línea]. Available: [https://dcbi.azc.uam.mx/media/Licenciaturas/Mecanica/RevisionPPI/PPI-015-19-PT-JOB\\_SANCHEZ\\_ALFARO\\_E2.pdf](https://dcbi.azc.uam.mx/media/Licenciaturas/Mecanica/RevisionPPI/PPI-015-19-PT-JOB_SANCHEZ_ALFARO_E2.pdf). [Último acceso: 24 Febrero 2022].
- [14] A. Creus, Instrumentación Industrial, Barcelona: Marcombo S.A., 2010.
- [15] A. Helfrick y W. Cooper, Instrumentación electrónica Moderna y Técnicas de Medición, México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., 1991.
- [16] J. Smoot, «Digi-Key,» 20 05 2021. [En línea]. Available: <https://www.digikey.com.mx/es/articles/understanding-ultrasonic-sensors>. [Último acceso: 10 Marzo 2022].
- [17] C. Canto, «UASLP Univerisdad Autónoma de san Luis Potosí,» [En línea]. Available: [http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/microprocesadores/EL\\_Z80\\_PDF\\_S/24\\_ADC.PDF](http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/microprocesadores/EL_Z80_PDF_S/24_ADC.PDF). [Último acceso: 12 marzo 2022].
- [18] «EUROINNOVA FORMACION,» [En línea]. Available: <https://www.euroinnovaformacion.com.ve/blog/desarrollo-de-hardware>. [Último acceso: 8 Abril 2022].
- [19] S. Corrales , Electrónica Práctica con microcontroladores PIC, Ecuador: S.C. PIC Electrónica & Computación, 2006.
- [20] D. Benchimol, Microcontroladores, Buenos Aires: Fox Andina, 2011.
- [21] S. Mackenzie y R. Phan, Microcontrolador 8051, 4ta ed., Naucalpan de Juárez: Pearson Education, 2007.
- [22] Espressif Systems, «Espressif.com,» 2019. [En línea]. Available: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf). [Último acceso: 10 Febrero 2022].
- [23] Expressif System, «Expressif.com,» [En línea]. Available: <https://esp32.com/viewtopic.php?t=9875>. [Último acceso: 07 03 2022].
- [24] «Random Nerd Tutorials,» [En línea]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-pinout-reference-gpios/>. [Último acceso: 10 Febrero 2022].
- [25] «EMAGISTER,» [En línea]. Available: <https://www.emagister.com/blog/que-son-los-buses-de-comunicacion/#:~:text=Se%20denomina%20bus%20a%20una,o%20caminos%20se%20intercambian%20datos..> [Último acceso: 2 Marzo 2022].

- [26] «CIDECAE,» [En línea]. Available: [http://cidecae.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro27/361\\_sincrona\\_y\\_asincrona.html](http://cidecae.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro27/361_sincrona_y_asincrona.html). [Último acceso: 3 Marzo 2022].
- [27] F. Leon, «Dynamoelectronics,» 2021. [En línea]. Available: <https://dynamoelectronics.com/buses-de-datos-en-electronica-paralelo-uart-spi-i2c/>. [Último acceso: 10 Marzo 2022].
- [28] «CISSET,» [En línea]. Available: <https://www.ciset.es/glosario/496-wifi-red-inalambrica>. [Último acceso: Junio 4 2022].
- [29] «ARITMETRICS,» [En línea]. Available: <https://www.arimetrics.com/glosario-digital/internet>. [Último acceso: 8 Junio 2022].
- [30] «VIU,» [En línea]. Available: <https://www.universidadviu.com/es/actualidad/nuestros-expertos/que-es-y-como-funciona-el-protocolo-ip>. [Último acceso: 8 Junio 2022].
- [31] «IONOS,» [En línea]. Available: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/que-es-tcp-transport-control-protocol/>. [Último acceso: 9 Junio 2022].
- [32] «Developer Mozilla,» [En línea]. Available: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTTP/Overview>. [Último acceso: 10 Junio 2022].
- [33] «Developer Mozilla,» [En línea]. Available: [https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/API/WebSockets\\_API](https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/API/WebSockets_API). [Último acceso: 2022].
- [34] «Developer IBM,» [En línea]. Available: [https://developer.ibm.com/articles/wa-http-server-push-with-websocket-sse/?mhsrc=ibmsearch\\_a&mhq=websocket](https://developer.ibm.com/articles/wa-http-server-push-with-websocket-sse/?mhsrc=ibmsearch_a&mhq=websocket). [Último acceso: 10 junio 2022].
- [35] «CFG global,» [En línea]. Available: <https://edu.gcfglobal.org/es/informatica-basica/que-es-hardware-y-software/1/>. [Último acceso: 3 Junio 2022].
- [36] «Arduino.cc,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. [Último acceso: 16 Mayo 2022].
- [37] «aprendiendoarduino.wordpress.com,» [En línea]. Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/12/11/ide-arduino/>. [Último acceso: 13 Junio 2022].

- [38] «developer.mozilla.org,» 2022. [En línea]. Available: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTML>. [Último acceso: 14 junio 2022].
- [39] «developer.mozilla.org,» 2021. [En línea]. Available: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/CSS>. [Último acceso: 17 junio 2022].
- [40] «developer.mozilla.org,» 2022. [En línea]. Available: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript>. [Último acceso: 20 junio 2022].
- [41] Espressif Systems, «Espressif,» 2019. [En línea]. Available: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf). [Último acceso: 2022].
- [42] HT-SENSOR, «WWW.HTC-SENSOR.COM,» [En línea]. Available: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/TAL220M4M5Update.pdf>. [Último acceso: 15 06 2022].
- [43] AVIA Semiconductor Co. LTD, «www.alldatasheet.com,» [En línea]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132222/AVIA/HX711.html>. [Último acceso: 20 febrero 2022].
- [44] ELEC Freaks, «www.ElecFreaks.com,» [En línea]. Available: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>. [Último acceso: 22 08 2022].
- [45] «randomnerdtutorials.com,» [En línea]. [Último acceso: 06 10 2022].
- [46] B. Fuente, «freepng.es,» [En línea]. Available: <https://img2.freepng.es/20180405/klq/kisspng-responsive-web-design-laptop-tablet-computers-hand-web-design-5ac5df97e76f50.250902171522917271948.jpg>. [Último acceso: 1 11 2022].
- [47] MDN contributors, «developer.mozilla.org,» 07 11 2022. [En línea]. Available: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/JavaScript/Objects/JSON>. [Último acceso: 8 11 2022].
- [48] aliExpress, «aliexpress.com,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.aliexpress.us/item/3256801434697430.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.6ba121e5Waty64&algo\\_pvid=8ede857e-d332-4e42-b74b-64881a0f16aa&algo\\_exp\\_id=8ede857e-d332-4e42-b74b-64881a0f16aa-47&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2212000028808965005%22%7D&pdp\\_npi](https://www.aliexpress.us/item/3256801434697430.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.6ba121e5Waty64&algo_pvid=8ede857e-d332-4e42-b74b-64881a0f16aa&algo_exp_id=8ede857e-d332-4e42-b74b-64881a0f16aa-47&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000028808965005%22%7D&pdp_npi). [Último acceso: 13 11 2022].

- [49] aliExpress, «AliExpress.com,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.aliexpress.us/item/2251832661153688.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.1dfc7bd2VNGqja&algo\\_pvid=a6b61ae7-ef87-4171-a5cc-26d92a9c728d&algo\\_exp\\_id=a6b61ae7-ef87-4171-a5cc-26d92a9c728d-24&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2265207109206%22%7D&pdp\\_npi=2%40d](https://www.aliexpress.us/item/2251832661153688.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.1dfc7bd2VNGqja&algo_pvid=a6b61ae7-ef87-4171-a5cc-26d92a9c728d&algo_exp_id=a6b61ae7-ef87-4171-a5cc-26d92a9c728d-24&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2265207109206%22%7D&pdp_npi=2%40d). [Último acceso: 13 11 2022].
- [50] AliExpress, «AliExpress.com,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.aliexpress.us/item/2251832859722659.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.655f6b72Yu6hDs&algo\\_pvid=fb1abc2d-232a-432e-aabd-82c216bcd763&algo\\_exp\\_id=fb1abc2d-232a-432e-aabd-82c216bcd763-2&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2267364851766%22%7D&pdp\\_npi=2%40di](https://www.aliexpress.us/item/2251832859722659.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.655f6b72Yu6hDs&algo_pvid=fb1abc2d-232a-432e-aabd-82c216bcd763&algo_exp_id=fb1abc2d-232a-432e-aabd-82c216bcd763-2&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2267364851766%22%7D&pdp_npi=2%40di). [Último acceso: 13 11 2022].
- [51] AliExpress, «AliExpress.com,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.aliexpress.us/item/3256803423543916.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.1ff42519wBcsAA&algo\\_pvid=05a82eaa-bb5e-4a02-88d9-f80ceb2af82e&algo\\_exp\\_id=05a82eaa-bb5e-4a02-88d9-f80ceb2af82e-18&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2212000029725898782%22%7D&pdp\\_npi](https://www.aliexpress.us/item/3256803423543916.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.1ff42519wBcsAA&algo_pvid=05a82eaa-bb5e-4a02-88d9-f80ceb2af82e&algo_exp_id=05a82eaa-bb5e-4a02-88d9-f80ceb2af82e-18&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000029725898782%22%7D&pdp_npi). [Último acceso: 13 11 2022].
- [52] AliExpress, «AliExpress.com,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.aliexpress.us/item/2251832644495685.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.3e504324Sj7Poe&algo\\_pvid=d196ee3c-edc4-4ef0-814a-d232dc81a777&algo\\_exp\\_id=d196ee3c-edc4-4ef0-814a-d232dc81a777-6&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2212000020812107111%22%7D&pdp\\_npi](https://www.aliexpress.us/item/2251832644495685.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.3e504324Sj7Poe&algo_pvid=d196ee3c-edc4-4ef0-814a-d232dc81a777&algo_exp_id=d196ee3c-edc4-4ef0-814a-d232dc81a777-6&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000020812107111%22%7D&pdp_npi). [Último acceso: 13 11 2022].
- [53] AliExpress, «AliExpress.com,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.aliexpress.us/item/3256802894390895.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.33c13dce3hlLdU&algo\\_pvid=b773e6f7-03f8-4e8a-a815-7a34be8d3a10&algo\\_exp\\_id=b773e6f7-03f8-4e8a-a815-7a34be8d3a10-14&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2212000023958402816%22%7D&pdp\\_npi](https://www.aliexpress.us/item/3256802894390895.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.33c13dce3hlLdU&algo_pvid=b773e6f7-03f8-4e8a-a815-7a34be8d3a10&algo_exp_id=b773e6f7-03f8-4e8a-a815-7a34be8d3a10-14&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000023958402816%22%7D&pdp_npi). [Último acceso: 13 11 2022].
- [54] AliExpress, «AliExpress.com,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.aliexpress.us/item/3256801578303078.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.6f3a4167y6EVWf&algo\\_pvid=b74e5390-0cfc-4c63-bc32-2f0bcbb80935&algo\\_exp\\_id=b74e5390-0cfc-4c63-bc32-2f0bcbb80935-52&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2212000017474987896%22%7D&pdp\\_npi](https://www.aliexpress.us/item/3256801578303078.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.6f3a4167y6EVWf&algo_pvid=b74e5390-0cfc-4c63-bc32-2f0bcbb80935&algo_exp_id=b74e5390-0cfc-4c63-bc32-2f0bcbb80935-52&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000017474987896%22%7D&pdp_npi). [Último acceso: 13 11 2022].
- [55] AliExpress, «AliExpress.com,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.aliexpress.us/item/2251832760126793.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.1d2f5ea6dLyoyY&algo\\_pvid=0ba2c717-8d46-4d2a-9a4b-c9cd02f1f53b&algo\\_exp\\_id=0ba2c717-8d46-4d2a-9a4b-c9cd02f1f53b](https://www.aliexpress.us/item/2251832760126793.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.1d2f5ea6dLyoyY&algo_pvid=0ba2c717-8d46-4d2a-9a4b-c9cd02f1f53b&algo_exp_id=0ba2c717-8d46-4d2a-9a4b-c9cd02f1f53b).

26&pdp\_ext\_f=%7B%22sku\_id%22%3A%2266309820530%22%7D&pdp\_npi=2%40d. [Último acceso: 13 11 2022].

- [56] AliExpress, «AliExpress.com,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.aliexpress.us/item/2255800945221974.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.60357aadqTXAlt&algo\\_pvid=4eae9924-fd12-462d-8ef2-0da5221ecf98&algo\\_exp\\_id=4eae9924-fd12-462d-8ef2-0da5221ecf98-4&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2210000014715949719%22%7D&pdp\\_npi=](https://www.aliexpress.us/item/2255800945221974.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.60357aadqTXAlt&algo_pvid=4eae9924-fd12-462d-8ef2-0da5221ecf98&algo_exp_id=4eae9924-fd12-462d-8ef2-0da5221ecf98-4&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2210000014715949719%22%7D&pdp_npi=). [Último acceso: 13 11 2022].
- [57] AliExpress, «AliExpress.com,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.aliexpress.us/item/3256802343782025.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.38df690bzmyWgb&algo\\_pvid=9659d775-f688-43c6-b39e-1544dfcc0aff&algo\\_exp\\_id=9659d775-f688-43c6-b39e-1544dfcc0aff-3&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2212000021082092533%22%7D&pdp\\_npi=](https://www.aliexpress.us/item/3256802343782025.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.38df690bzmyWgb&algo_pvid=9659d775-f688-43c6-b39e-1544dfcc0aff&algo_exp_id=9659d775-f688-43c6-b39e-1544dfcc0aff-3&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000021082092533%22%7D&pdp_npi=). [Último acceso: 13 11 2022].
- [58] AliExpress, «AliExpress.com,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.aliexpress.us/item/3256803470893755.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.137614c4iwWiBD&algo\\_pvid=8a3dd603-1c0c-4301-ae1e-f2a62ed35d52&algo\\_exp\\_id=8a3dd603-1c0c-4301-ae1e-f2a62ed35d52-13&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2212000026678013845%22%7D&pdp\\_npi=](https://www.aliexpress.us/item/3256803470893755.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.137614c4iwWiBD&algo_pvid=8a3dd603-1c0c-4301-ae1e-f2a62ed35d52&algo_exp_id=8a3dd603-1c0c-4301-ae1e-f2a62ed35d52-13&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000026678013845%22%7D&pdp_npi=). [Último acceso: 13 11 2022].
- [59] AliExpress, «AliExpress.com,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.aliexpress.us/item/3256803013058190.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.22bf2370vgpS2l&algo\\_pvid=fcc0a90d-7aa0-4901-a759-ebb298753e4d&algo\\_exp\\_id=fcc0a90d-7aa0-4901-a759-ebb298753e4d-8&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2212000024626532055%22%7D&pdp\\_npi=](https://www.aliexpress.us/item/3256803013058190.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.22bf2370vgpS2l&algo_pvid=fcc0a90d-7aa0-4901-a759-ebb298753e4d&algo_exp_id=fcc0a90d-7aa0-4901-a759-ebb298753e4d-8&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000024626532055%22%7D&pdp_npi=). [Último acceso: 13 11 2022].
- [60] AliExpress, «AliExpress.com,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.aliexpress.us/item/2251832097212038.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.44fd68e5am125y&algo\\_pvid=0d6ca842-8aa2-459d-ad79-4dd90282985c&algo\\_exp\\_id=0d6ca842-8aa2-459d-ad79-4dd90282985c-2&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2250526070581%22%7D&pdp\\_npi=](https://www.aliexpress.us/item/2251832097212038.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.44fd68e5am125y&algo_pvid=0d6ca842-8aa2-459d-ad79-4dd90282985c&algo_exp_id=0d6ca842-8aa2-459d-ad79-4dd90282985c-2&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2250526070581%22%7D&pdp_npi=)2%40di. [Último acceso: 13 11 2022].
- [61] AliExpress, «AliExpress.com,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.aliexpress.us/item/3256803478351473.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.319fdfa3Rx6AeD&algo\\_pvid=f35fe837-51ca-413e-ad7b-8fb1f48c7228&algo\\_exp\\_id=f35fe837-51ca-413e-ad7b-8fb1f48c7228-3&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2212000026708831704%22%7D&pdp\\_npi=](https://www.aliexpress.us/item/3256803478351473.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.319fdfa3Rx6AeD&algo_pvid=f35fe837-51ca-413e-ad7b-8fb1f48c7228&algo_exp_id=f35fe837-51ca-413e-ad7b-8fb1f48c7228-3&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000026708831704%22%7D&pdp_npi=). [Último acceso: 13 11 2022].

- [62] AliExpress, «AliExpress.com,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.aliexpress.us/item/3256802931411953.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.38ee6966xdeD5h&algo\\_pvid=b3b661e8-5964-47cc-8fc9-7c120ca1fade&algo\\_exp\\_id=b3b661e8-5964-47cc-8fc9-7c120ca1fade-0&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2212000024192658375%22%7D&pdp\\_npi=](https://www.aliexpress.us/item/3256802931411953.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.38ee6966xdeD5h&algo_pvid=b3b661e8-5964-47cc-8fc9-7c120ca1fade&algo_exp_id=b3b661e8-5964-47cc-8fc9-7c120ca1fade-0&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000024192658375%22%7D&pdp_npi=). [Último acceso: 13 11 2022].
- [63] AliExpress.com, «AliExpress.com,» 2022. [En línea]. Available: <https://cart.jlcpb.com/quote?orderType=1&stencilLayer=2&stencilWidth=150&stencilLength=150&stencilCounts=5>. [Último acceso: 13 11 2022].
- [64] LibertyExpress, «libertyexpress.com,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.libertyexpress.com/es-ve/tarifas/>. [Último acceso: 13 11 2022].
- [65] AliExpress, «AliExpress.com,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.aliexpress.us/item/3256802242469825.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.22f816d0X0Q0th&algo\\_pvid=c043033f-5020-4041-a5e4-e9667666a657&algo\\_exp\\_id=c043033f-5020-4041-a5e4-e9667666a657-3&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2212000020898138260%22%7D&pdp\\_npi=](https://www.aliexpress.us/item/3256802242469825.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.22f816d0X0Q0th&algo_pvid=c043033f-5020-4041-a5e4-e9667666a657&algo_exp_id=c043033f-5020-4041-a5e4-e9667666a657-3&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000020898138260%22%7D&pdp_npi=). [Último acceso: 13 11 2022].

www.bdigital.ula.ve