



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACION

Trabajo Monográfico Para optar a título de
Ingeniero en Electrónica

Tema

Diseño de un controlador electrónico para la automatización del proceso de pesado de un sistema de tipo Valve Bag para la empresa de integración de proceso y sistema industriales en la ciudad de Managua.

Autores

Br. Meyling Patricia Salinas Padilla	Carnet: 2010-32951
Br. Kevin Alberto Jirón González	Carnet: 2010-32909
Br. Francis Carolina Soto Ampié	Carnet: 2010-33455

TUTOR:

Msc.Ing. Juan Miguel Mairena

Managua, Nicaragua Octubre del año 2023

ÍNDICE DEL CONTENIDO

I. Introducción	1
II. Justificación	2
III. Objetivos	4
Objetivo General	4
Objetivos Específicos	4
IV. Marco Teórico	5
4.1. Empaques	5
4.1.1. Empaque primario	5
4.1.2. Empaque secundario	5
4.1.3. Empaque terciario	5
4.2. Materiales utilizados para la elaboración de empaques.....	6
4.2.1. Papel	6
4.2.2. Papel Kraft.....	6
4.2.3. Papel Parafinado.....	6
4.2.4. Papel Glassine	6
4.2.5. Papel Encerado	6
4.2.6. Plástico	7
4.2.7. Polietileno (PE).....	7
4.2.8. Polipropileno (PP)	7
4.2.9. Politereftalato de etileno (PET)	8
4.2.10. Foil de Aluminio.....	8
4.3. Bolsa de Boca abierta (Open Bag)	8
4.4. Bolsa big bag (FIBC- Flexible Intermediate Bulk Container)	9
4.5. Bolsa Valvulada (Valve bag).....	10
4.5.1. Manga insertable	10
4.5.2. Selladas herméticamente.....	10
4.5.3. De cierre automático	10
4.6. Empaques flexibles	10
4.6.1. Bolsa de tres sellos (Tipo almohadilla)	11
4.6.2. Bolsa de tres sellos con fondo plano	11
4.6.3. Bolsa tipo sachet	11

4.7.	Máquinas empacadoras.....	11
4.7.1.	Empacadoras de peso bruto	12
4.7.2.	Empacadoras de peso neto	12
4.8.	Máquinas selladoras	12
4.9.	Máquinas empacadoras semiautomáticas	13
4.10.	Máquinas empacadoras automáticas.....	13
4.11.	Verticales	14
4.12.	Horizontales.....	15
4.13.	Sistemas dosificación	16
4.13.1.	Dispensado volumétrico.....	17
4.13.2.	Dispensado por peso	17
4.14.	Tipos de empaado	17
4.14.1.	Empaado por fluidificación	17
4.14.2.	Empaado por Hélices.....	18
4.14.3.	Tornillo sin fin	18
4.15.	Celdas de Carga o Sensor de Carga	18
4.15.1.	Piezoeléctricas	19
4.15.2.	Capacitivas.....	19
4.15.3.	Galgas extensiométricas.....	19
4.15.4.	Botella	20
4.15.5.	Viga S.....	20
4.15.6.	Viga al corte	21
4.15.7.	Doble Viga al corte.....	22
4.15.8.	Viga Voladiza	22
4.15.9.	Plataforma	22
4.16.	Principios de introducción de carga.....	23
4.16.1.	Carga ideal	23
4.16.2.	Carga angular	23
4.16.3.	Carga excéntrica	23
4.16.4.	Carga Lateral	24
4.16.5.	Carga de torsión.....	24
4.17.	Señal de Salida de una celda de carga.....	24

4.18.	Indicadores de peso	25
4.19.	Acondicionamiento de Señal	25
4.20.	Unidad de procesamiento.....	26
4.20.1.	PLC	26
4.20.2.	Microcontroladores.....	26
4.20.3.	Microcomputadoras.....	27
4.21.	Actuadores.....	27
4.21.1.	Motores eléctricos	27
4.21.2.	Motores AC Asíncrono trifásico	27
4.21.3.	Motores AC asíncronos monofásico	27
4.22.	Elementos para circuitos de automatización.....	28
4.22.1.	Contactores	28
4.22.2.	Relevador térmico	28
4.22.3.	Lámparas pilotos.....	28
4.22.4.	Piloto Rojo	28
4.22.5.	Piloto Amarillo	28
4.22.6.	Piloto Blanco	28
4.22.7.	Pulsador Amarillo	29
V.	Diseño metodológico	30
5.1.	Tipo de investigación	30
5.1.1.	Método de investigación.....	30
5.2.	Etapas de análisis	30
5.3.	Etapas de diseño:.....	30
5.3.1.	Sistema de adquisición y acondicionamiento de datos	30
5.3.2.	Sistema de control de potencia.....	31
5.3.3.	Diseño de HMI.....	31
5.3.4.	Selección del controlador	31
5.4.	Etapas de evaluación	32
5.5.	Recursos para el diseño	32
5.5.1.	Proteus Design Suite.....	32
5.5.2.	Arduino IDE	32
5.5.3.	CADe-Simu.....	32

5.5.4.	PC-Simu	33
5.5.5.	SolidWorks	33
VI.	ANÁLISIS, DISEÑO Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	34
6.1.	Etapa de análisis.....	34
6.1.1.	Diagrama del proceso de empaclado actual	34
6.1.2.	Análisis y descripción de empacadora Valve bag.....	35
6.1.3.	Propuesta de estructura de báscula	38
6.1.4.	Requerimientos del sistema	39
6.2.	Etapa de diseño del sistema.....	40
6.2.1.	Esquema general del sistema	40
6.2.2.	Sensor.....	41
6.3.	Circuito transmisor de peso	42
6.3.1.	Excitación:	43
6.3.2.	Amplificador de ganancia variable	44
6.3.3.	Ajuste de punto cero:	47
6.3.4.	Digitalización:	49
6.3.5.	Simulación del módulo de adquisición en proteus.....	52
6.4.	Sistema de control de potencia.....	54
6.4.1.	Circuito de control	55
6.4.2.	Circuito de fuerza	56
6.4.3.	Cálculo de corriente de arranque.....	57
6.4.4.	Cálculo de calibre de cable conductor para el circuito de potencia.....	57
6.4.4.1.	Cálculo de Alimentador.....	57
6.4.4.2.	Cálculo de conductor para circuito derivado.....	58
6.4.5.	Selección del contactor	58
6.4.6.	Relé de estado sólido.....	59
6.4.7.	Elección relevador térmico	61
6.4.7.1.	Protección contra sobrecarga.....	61
6.4.7.2.	Rango de corriente ajustable	61
6.4.7.3.	Clase de disparo	61
6.4.8.	Selección Relevador termomagnético	63
6.4.9.	Simulación de circuito de potencia.....	65

6.5.	HMI.....	67
6.5.1.	Entradas	68
6.5.2.	Salidas.....	69
6.5.2.1.	Luces Pilotos.....	69
6.5.2.2.	Pantalla LCD 16x2	71
6.5.3.	Diseño de panel.....	72
6.6.	Microcontrolador	73
6.6.1.	Requerimientos del microcontrolador	73
6.6.2.	Selección del microcontrolador	74
6.7.	Programación del microcontrolador.....	76
6.7.1.	Descripción de los estados:	77
6.7.2.	Implementación de la máquina de estados finitos en código fuente.....	77
6.8.	Fuente de alimentación.....	78
6.9.	Etapa de presentación de resultados	78
6.9.1.	Diseño de circuitos impresos	78
6.9.2.	Simulaciones	82
6.9.2.1.	Simulación de celda de carga y circuito transmisor de peso	82
6.9.2.2.	Simulación de sistema en proteus.....	83
6.9.2.3.	Animación de proceso de llenado en PC SIMU	84
6.9.3.	Implementación de prototipo.....	86
6.9.4.	Diagrama de flujo de proceso simplificado	88
6.10.	Presupuesto.....	88
6.11.	Comparación de precio con otros equipos.....	90
6.12.	Presupuesto de prototipo implementado.....	91
VII.	Conclusiones	92
VIII.	Recomendaciones	93
IX.	Bibliografía.....	94
A.	MANUAL DE USUARIO	102
B.	VISTAS DE MÁQUINA EMPACADORA CON BÁSCULA INTEGRADA....	103
C.	CÓDIGO FUENTE DEL CONTROLADOR	105
D.	TABLA DE ASIGNACIÓN DE PINES CON PC_SIMU	118
E.	DIAGRAMA DE CIRCUITO DE CONTROL Y CIRCUITO DE POTENCIA.	119

I. Introducción

La mayoría de pequeñas y medianas empresas (PYMES) del país que se dedican al procesamiento de alimentos para producir cereales, condimentos en polvos, harinas entre otros aún realizan muchos procesos como el pesado y empaqueo de forma manual o semiautomática. Lo que repercute de forma negativa en la productividad, costos de operación, así como en el cumplimiento de distintas normas de calidad del producto lo que dificulta el acceso a distintos mercados internacionales. Uno de estos procesos es el empaqueo de productos finos (polvo) en bolsas valvuladas, las cuales se llenan con un tubo insertado en una pequeña abertura (válvula) en la esquina superior de la bolsa.

Para el dosificado de estos productos se utiliza una empacadora Valve Bag que es un tipo de máquina empacadora horizontal que utiliza como método de dosificación un tornillo sin fin dado que su objetivo es poder empaquer materiales de fácil compresión como el almidón. Sin embargo, pese a que el proceso de dosificado es realizado por la empacadora. En muchos casos no se cuenta con un sistema de medición que permita el monitoreo del contenido que se está depositando en la bolsa valvulada. Lo que implica que el proceso de pesado se siga realizando de forma manual usando balanzas estáticas, disminuyendo la precisión y velocidad del proceso.

En el presente trabajo monográfico se realiza una propuesta para automatizar el proceso de pesado de una empacadora Valve bag mediante la incorporación de un controlador electrónico para la automatización del proceso de pesado en el rango de 10Kg a 25Kg. El controlador cuenta con un sistema de adquisición y acondicionamiento basado en celdas de carga para medir con precisión el contenido dosificado en la bolsa valvulada. También cuenta con drivers de potencia que permiten al controlador accionar y detener la etapa de dosificado basado en las mediciones del peso. Adicional se dispone con una interfaz humano-máquina (HMI) que permite al operario establecer las configuraciones de operación como el peso específico que deben contener el empaque y cantidad de bolsa a llenar.

Este proyecto pretende resolver la problemática planteada con anterioridad ya que al automatizar el proceso de pesado se reducirá la cantidad de acciones por parte de los operarios, aumentará la precisión y velocidad del proceso de pesado y con ello disminuir los tiempos, costos de producción y aumentando la confiabilidad del producto empacado.

II. Justificación

En la actualidad existen diversas pymes y microempresas en el país que se dedican a producir, empacar y distribuir una gran variedad de productos finos como cereales, condimentos, harinas, almidones. Sin embargo, estos procesos en su gran mayoría son manuales o semiautomáticos. Es frecuente encontrar situaciones que comprometen el cumplimiento de las normas y estándares de calidad establecidas en distintas certificaciones, lo cual ocasiona pérdidas para las empresas y también evita acceder a los mercados internacionales.

La competitividad de las empresas del sector productivo se ve altamente beneficiada cuando se automatizan los diferentes procesos, ya que ello permite aumentar la cantidad, calidad y eficiencia de la producción, así como disminuir pérdidas debido al incumplimiento de especificaciones.

En el país empresas como Integración de procesos y sistemas industriales S.A. (IPSISA) donde se estará probando el prototipo se encuentran actualmente desarrollando diferentes investigaciones para el desarrollo de tecnología relacionadas con la automatización de los procesos, controladores, sistemas y estrategias de medición e integraciones con tecnologías como IoT y aplicaciones web. Por lo que dicha empresa ha solicitado una propuesta de mejorar el proceso de empacado de materiales finos (polvos) que utilizan empacadora Valve bag para dosificación, pero no se cuenta con un método para realizar el pesado de forma automática.

Debido a que se ha identificado esta carencia tiene un impacto negativo en la productividad en la empresa con este tipo de sistemas. Pues el proceso de pesado en estas empresas se sigue realizado de forma manual usando balanzas estáticas, disminuyendo la precisión y velocidad del proceso. Incluso es común los casos en que la bolsa valvulada se rompen debido a que se ha dosificado mayor cantidad de material por encima de su capacidad máxima, aumentando consigo los costos de producción y reducción de la capacidad de producción.

El proyecto monográfico pretende mejorar el proceso de empacado de una empacadora Valve Bag mediante la incorporación de un controlador electrónico para la automatización del proceso de pesado. Reduciendo la cantidad de acciones por parte de un operario en el proceso y con ello disminuir los tiempos de empaque del producto y a costos menores.

El controlador cuenta con un sistema de adquisición y acondicionamiento basado en celdas de carga para medir con precisión el contenido dosificado en la bolsa

valvulada. También posee drivers de potencia que permiten al controlador accionar y detener la etapa de dosificado basado en las mediciones del peso. Adicional se proporciona con una interfaz humano-máquina (HMI) que permita al operario establecer las configuraciones de operación como el peso específico que deben contener el empaque y cantidad de bolsa a llenar.

En el ámbito académico los estudiantes de electrónica de las universidades del país contarán con información que podría ser de relevancia para reforzar sus conocimientos y habilidades sobre los diferentes temas relacionados con el hardware y el software de la solución implementada. Los resultados obtenidos pueden ser tomados como punto de partida para futuras mejoras y así brindar servicios a niveles industriales relacionado al empaçado y pesaje.

Un aspecto fundamental de la propuesta es que, de ser implementada, permitirá ser una referencia para fortalecer las capacidades del país para crear tecnología, efectiva, eficiente y de bajo costo en este tipo de procesos. Reduciendo la dependencia tecnológica del país de proveedores extranjeros, lo cual puede traducirse en menores costos de producción.

III. Objetivos

Objetivo General

Diseñar un controlador electrónico para la automatización del proceso de pesado de un sistema de tipo Valve Bag, en el rango de 10 a 25 kilogramos en la empresa de integración de proceso y sistemas industriales en la ciudad de Managua.

Objetivos Específicos

1. Establecer un sistema de medición para la adquisición de la variable “peso” de los sacos llenados por la empacadora en un rango de 10Kg a 25Kg.
2. Desarrollar un sistema para el control del proceso de pesaje a través de una interfaz humano-máquina y una etapa de control de potencia para el acoplamiento con los actuadores.
3. Evaluar mediante simulación el sistema de empaque para su correcto funcionamiento.

IV. Marco Teórico

El presente trabajo monográfico establecerá un sistema de medición para obtener la variable “peso” de los sacos llenados por la empacadora en un rango de 10Kg a 25Kg, a través de una interfaz Humano Maquina que permitirá la adquisición de datos y el control del proceso de pesaje, donde se desarrollará una etapa de control de potencia para el acoplamiento entre los dispositivos y finalmente se evaluará mediante una simulación para su correcto funcionamiento.

En este apartado son presentados elementos teóricos relacionados con los elementos más importantes de la solución propuesta, específicamente se brinda información sobre conceptos básicos de empaques, sistemas de empaquetado, medición de peso, elementos de potencia y microcontroladores.

4.1. Empaques

Según (Alvarado, 2015) El empaque se define como cualquier material que encierra un producto con la finalidad de preservarlo y/o facilitar el consumo de este. Permite la protección suficiente para cantidades de consumo habituales con una presentación adecuada al mercado. El empaque es primordial para preservar la calidad de los productos en dos momentos clave: el transporte y la comercialización. El mismo, consta de varios niveles y desempeña diversas funciones particulares.

El empaque se puede clasificar en los siguientes niveles (Álvarez & Cevallos, 2016):

4.1.1. Empaque primario

Es todo recipiente que se encuentra en contacto directo con el producto, para establecer un ejemplo claro, se podría decir que un frasco de mermelada sería el envase primario, protege y se encuentra expuesto directamente al producto. (Álvarez & Cevallos, 2016)

4.1.2. Empaque secundario

Se considera envase secundario a todo recipiente que contiene o protege al envase o conjunto de envases, tales como: divisores o separadores, cuadrículas de cartón. En ocasiones el envase secundario se usa como parte de exhibición del producto. (Álvarez & Cevallos, 2016)

4.1.3. Empaque terciario

También conocido como embalaje o empaque de transporte, este permite agrupar una cantidad considerable de productos con el fin de facilitar el manipulación y protección para su distribución por distintos medios de transporte, este tipo de envase puede tratarse de cajas de cartón o madera. (Álvarez & Cevallos, 2016)

4.2. Materiales utilizados para la elaboración de empaques

Existe una gran variedad y disponibilidad de materiales con diversas propiedades permite al fabricante confeccionar a medida cada tipo de empaque para cada aplicación.

4.2.1. Papel

Es el material más simple utilizado para empacar diversos productos. Sin embargo, ha sido sustituido por el auge de los materiales plásticos. Existen diversidad de tipos de papel destinado para el empackado entre los cuales se pueden mencionar los siguientes (Saja , 2005):

4.2.2. Papel Kraft

Altamente resistente y se utiliza para la elaboración de bolsas, sacos multicapas y papel para envolturas, un ejemplo de su uso es el empaque del material cemento en polvo. (Saja , 2005)



Ilustración 1. Empaque de papel de cemento (CEMEX Nicaragua, 2023)

4.2.3. Papel Parafinado

Material resistente a la humedad, aceites y grasas. (Saja , 2005)

4.2.4. Papel Glassine

Papel de textura muy densa y altamente resistente a los aceites y grasas; es translucido y calandrado, lo que le proporciona una superficie plana. Puede convertirse en opaco mediante la aplicación de pigmentos. (Saja , 2005)

4.2.5. Papel Encerado

Brinda alta protección a líquidos y vapores.

Entre las ventajas de la bolsa de papel están: la prevención de fuga en productos en polvo evita la pérdida o absorción de humedad, asegura un fácil vaciado del producto, su forma permite optimizar el espacio, evita la acción química entre el

contenido y otros materiales. Entre estas múltiples ventajas el saco de papel es un gran aliado para contener materiales de construcción, alimentos a granel, fertilizantes, harina (Walteros,2018). Por lo que las industrias más consumidoras del material son construcción, alimentos y químicos.

4.2.6. Plástico

Los plásticos presentan enormes propiedades tanto físicas como químicas convirtiéndolo así en uno de los materiales más usados para múltiples productos siendo estos tantos sólidos como líquidos y gaseosos. Entre las ventajas del plástico están: rigidez, matices de transparencia, resistencia al agua, la humedad, productos químicos, impactos, higiene, poco deformable. Sin embargo, estos presentan como gran desventaja su impacto ambiental contaminante (Vidales, 2003)

Según Moreno (2010) los materiales plásticos para la realización de empaques son los siguientes:

4.2.7. Polietileno (PE)

Es el polímero que más se ve en la vida diaria. Es de indispensable uso en combinación con cualquier otro material para conseguir que sea termosellable. La lámina hecha de este material es suave al tacto, flexible y fácilmente estirable, tiene buena claridad, provee una buena barrera al vapor de agua, pero es una pobre barrera al oxígeno. Los polietilenos de baja densidad son utilizados para el envase de algunas bebidas, productos granulados y lácteos. Por ejemplo, la leche fresca debe tener un envase económico y a la vez protector. (Quisirumbay & Bedoya, 2007)

4.2.8. Polipropileno (PP)

El polipropileno es ideal para el empaque de productos grasos como los snacks que normalmente tienen un cierto contenido graso que genera un sabor rancio si el oxígeno ha penetrado en el envase. Además, constituye un excelente empaque para galletas y golosinas en general. (Moreno E. , 2010)

4.2.9. Politereftalato de etileno (PET)

Es un material muy importante de envasado por sus excepcionales características mecánicas y dimensionales a alta temperatura. Tiene excelente estabilidad dimensional y maquinabilidad. Disponible como laminado para envases retornables y para pasteurización, que requieren excelente fuerza física y resistencia al calor. Son utilizados para el envase de bebidas. (Hermida, 2011)



Ilustración 2. Botellas PET (Grupo Orma S.A., 2023)

4.2.10. Foil de Aluminio

El Foil de aluminio es una lámina de aluminio sólido, de una aleación adecuada, laminado hasta un espesor muy delgado, que va de un espesor mínimo de aproximadamente de 4 micras a un máximo de alrededor de 150 micras. Desde el punto de vista de los envases y otras aplicaciones principales una de las características más importantes de foil de aluminio es su impermeabilidad al vapor de agua y gases. El foil de aluminio actúa como barrera total a la luz y el oxígeno, olores y sabores, humedad y bacterias. Por ello se utiliza en empaques para alimentos y farmacéuticos. (APG-Globe, 2022)

El foil de aluminio se utiliza para hacer envases de larga vida (envasado aséptico), para las bebidas y los productos lácteos, que permite el almacenamiento sin refrigeración. Laminados de foil de aluminio se utilizan también para envasar muchos otros alimentos sensibles al oxígeno o humedad, tabaco, en forma de bolsas, sobres y tubos, y cierres con evidencia de apertura (APG-Globe, 2022)

4.3. Bolsa de Boca abierta (Open Bag)

Son de los contenedores más flexibles y utilizados. Los sacos boca abierta se utilizan para el llenado automático y manual de productos en polvo, en grano o sueltos y en general el llenado se produce por gravedad. Pueden ser de boca y fondo planos (tipo funda de almohada) o con pliegues laterales (fuelles). (Smurfit Kappa, 2022)

En este último caso, opcionalmente, se puede fijar la estabilidad de los pliegues laterales por medio de puntos de soldadura y así permitir el llenado sin que éstos se desarmen y poder sellar o coser la boca de la bolsa y lograr el mismo formato del fondo y la boca. (Industrias_Macro_S.A, 2016)



Ilustración 3. Tipos de sacos de boca abierta (Industrias Macro S.A, 2023)

4.4. Bolsa big bag (FIBC- Flexible Intermediate Bulk Container)

Es un contenedor industrial hecho de tela flexible que está diseñado para almacenar y transportar productos, fluidos secos, tales como arena, fertilizantes, granulados de plástico, Productos alimenticios. Su principal característica es su capacidad alrededor de 1000 kg, pero las unidades más grandes pueden almacenar aún más. Una bolsa a granel diseñada para transportar una tonelada métrica de material, por estar elaborada con polietileno o polipropileno esta tan solo pesa entre 2kg a 3kg. (Eneque, Rediseño de una planta industrial para cubrir la demanda de contenedores flexibles, 2019)

Otra de sus principales ventajas es que facilitan el trabajo de carga y descarga, reducen tiempos y recursos; son versátiles, por lo que pueden cubrir cualquier necesidad de embalaje; y son eco-amigables, es decir se pueden reciclar y volver a procesar para obtener telas de polipropileno u otros materiales. (Peñalver, 2023)



Ilustración 4. Tipos de bolsa Big bag (BariteWorld – Industrial Minerals & Chemicals Company, 2023)

4.5. Bolsa Valvulada (Valve bag)

La bolsa valvulada es un tipo de empaque industrial que debido a su diseño y elaboración permite un mejor desempeño en el empaque de materiales finos (polvos) y granulados. Estas bolsas se llenan con un tubo insertado en una pequeña abertura (válvula) en la esquina superior de la bolsa. Después del llenado, esta válvula se cierra, sellando la bolsa. Una ventaja de usar una bolsa de tipo válvula es que no requieren una máquina de coser bolsas o un sellador de bolsas para cerrar la bolsa. (INPAK SYSTEMS, 2020)

Hay tres estilos de bolsas valvuladas (INPAK SYSTEMS, 2020):

4.5.1. Manga insertable

Tiene una solapa que se mete manualmente para cerrar la bolsa después de llenarla.

4.5.2. Selladas herméticamente

Tiene una solapa que se presiona y se calienta para sellar la abertura. Estas bolsas se usan a menudo con llenadores de bolsas completamente automatizados, ya que no requieren que un operador cierre la bolsa.\

4.5.3. De cierre automático

Tiene una solapa interna que cubre la abertura cuando el producto empuja contra ella. Este tipo de bolsa son las bolsas con válvula más utilizadas.

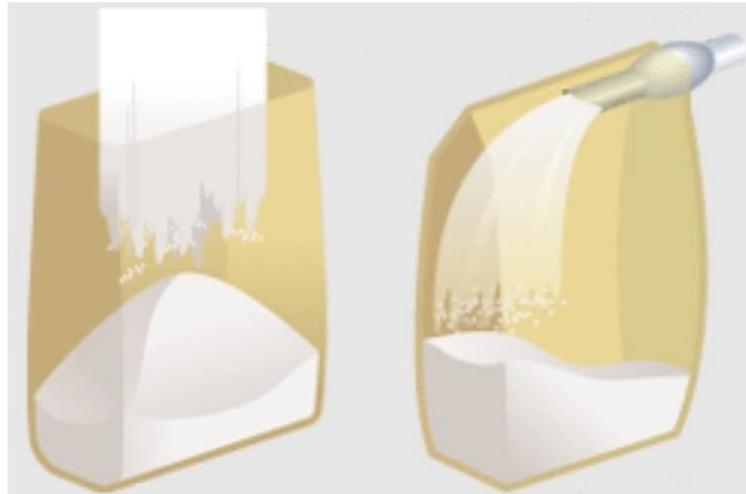


Ilustración 5. Comparativa bolsa abierta (izquierda) y Bolsa Valvulada(derecho) (SaintyCo, 2023)

4.6. Empaques flexibles

Los envases flexibles son cuerpos tridimensionales hechos de materiales complejos que se dejan enrollar, doblar formar y fraccionar. A estos materiales de envase compuestos se les denomina genéricamente “Laminados flexibles” como,

por ejemplo, una bobina de laminado para leche en polvo. A los cuerpos tridimensionales hechos con ellos, se le denomina empaques flexibles, tal como una bolsa de leche en polvo. (Illanes, 2004)

Dentro de los principales empaques flexibles se encuentran:

4.6.1. Bolsa de tres sellos (Tipo almohadilla)

Este tipo de bolsa es la más común y fácil de conformar, tiene un sellado vertical y dos horizontales (inferior y superior). Los empaques con esta configuración son utilizados para arroz, azúcar, caramelos, café, líquidos, entre otros. Generalmente estas bolsas están hechas con polietileno o polipropileno por los bajos costos que implican estos materiales. (Moreno E. , 2010)

4.6.2. Bolsa de tres sellos con fondo plano

Son bolsas que brindan una mejor presentación del producto ya que disponen de un doblez en la parte inferior de la bolsa que permite que se mantenga parada. Al igual que la bolsa tipo almohadilla, este tipo de configuración tiene un sello vertical y dos horizontales. Algunos empaques con estas características son conformados directamente en la máquina empacadora, otras son preformadas. Los empaques con esta configuración son utilizados para productos sólidos y polvos. (Molano & Ivan, 2020)

4.6.3. Bolsa tipo sachet

Son ideales para dosis pequeñas, de raciones personales; como de salsa de tomate, mostaza, mayonesa, azúcar, shampoo, preservativos, entre otros. Este tipo de bolsas son hechas de polipropileno algunas con recubrimiento de foil de aluminio. (Molano & Ivan, 2020)

4.7. Maquinas empacadoras

Debido a la gran variedad de productos que existen en el mercado, la necesidad por conservarlos, el constante incremento de la oferta, la demanda y la necesidad de hacerlos llegar rápido, se ha tenido la obligación de diseñar, desarrollar y fabricar diferentes tipos de máquinas empacadoras con gran capacidad de producción, de empaque y distribución de acuerdo con el producto, a la industria en la que se va a utilizar y a las normas estándares que regulan el empaque, para cumplir con este fin. (Garcia & Gonzalez, 2009)

Las máquinas para empacar facilitan el proceso de envasado de productos sólidos, líquidos y polvos, ya sea en envases como botellas, vasos, películas flexibles, estuches, etc. Existen máquinas empacadoras que pueden ser de tipo manual, semiautomáticas, automáticas, estas pueden clasificarse a su vez por su forma en verticales y horizontales. (Herrera & Lumbres, Diseño de una máquina

vertical empacadora, dosificadora y selladora de accionamiento mecánico – neumático controlado por un plc para fundas de arroz, 2018)

Basado en el sistema de medición puede ser dividida en dos tipos empacadoras de peso bruto y empacadoras de peso neto. (Inpak Systems, 2022)

4.7.1. Empacadoras de peso bruto

Las empacadoras de peso bruto pesan el material en la bolsa a medida que se llena.

4.7.2. Empacadoras de peso neto

Las empacadoras de peso neto pesan previamente el material en una tolva y luego lo vuelcan en una bolsa. Por lo general, una báscula de peso neto es aproximadamente 2 veces más rápida que una báscula de peso bruto comparable porque, a medida que se llena la tolva de una báscula de peso neto, la bolsa se puede colocar. (Inpak Systems, 2022)



Ilustración 6. Empacadora de peso neto NVENIA (NVENIA a duravant company, 2023)

4.8. Máquinas selladoras

Son máquinas manuales o automáticas, utilizadas para sellar empaques de polietileno, polipropileno, poliéster polietileno, entre otros. Este tipo de máquinas son de carácter doméstico o de microempresas ya que la producción de empaques es muy baja y necesariamente requiere de un empaque preformado.

Estas selladoras pueden encontrarse en diversos tamaños, los mismos que dependen del producto y la bolsa a sellar. (Moreno E., 2010)



Ilustración 7. Selladora de impulse manual (YSS Repuestos Group, Inc., 2023)

4.9. Máquinas empacadoras semiautomáticas

Las máquinas empacadoras semiautomáticas tienen integrados algunos procesos que se realizan de manera manual y otros de forma automática, concentrando en un solo operador, las tareas de dosificación y empaque, lográndose producciones mayores al empaque manual con menor cantidad de operadores. Por esta razón, estas máquinas son ideales para micro y pequeñas empresas. (Iza & Medina, 2013)



Ilustración 8. Empacadora Valve Bag semiautomática (SaintyCo, 2023)

4.10. Máquinas empacadoras automáticas

Las empacadoras son máquinas muy completas y con un grado de automatización alto en la actualidad, compuestas por componentes electrónicos, mecánicos, neumáticos, software, los cuales interactúan de una manera conjunta y sincrónica que garantiza un buen funcionamiento. El sistema de control de este tipo de máquinas automáticas, se lo puede realizar mediante, microcontroladores o un

controlador lógico programable (PLC). (Antamba, Sistema de sellado horizontal y vertical de funda para una máquina empacadora de snacks, 2018)

Las máquinas empacadoras automáticas, constan de tres sistemas principales que son el de dosificación, formador de empaque y sellado de empaque, al constar con un sistema de formado de empaque no requiere de empaques preformadas, ayudando así a optimizar recursos. A este tipo de máquina puede incorporarse codificadores para así imprimir sobre el empaque plástica información como fecha de elaboración o caducidad del producto. (Antamba, Sistema de sellado horizontal y vertical de funda para una máquina empacadora de snacks, 2018)

4.11. Verticales

El término vertical indica la dirección principal de avance del material durante la confección del envase. Comúnmente este tipo de máquina es usada para empacar granos o polvos, ya que se aprovecha la caída del producto para alimentar las empaques. Esta clase de máquina cuenta con una tolva o un silo, en cada una de estas estructuras se encuentra un sensor que es el encargado de controlar la cantidad del producto que se desea empacar. Dependiendo del producto varían los sensores y las estructuras anteriormente nombradas. (Moreno E. , 2010)

Para la conformación total del empaque, la empacadora despliega unas mordazas que están conformadas por resistencias de calor y cilindros neumáticos. Las resistencias de calor son las encargadas de sellar vertical y horizontalmente el plástico, lográndolo por el movimiento lineal de los cilindros neumáticos cuando estos actúan, haciendo que las mordazas choquen y sellen. (Garcia & Gonzalez, 2009)



Ilustración 9. Máquina empacadora vertical (Turpack, 2023)

El diseño del despliegue del plástico depende de la empresa fabricante. Usualmente este comienza desde la parte posterior de la máquina, dirigiéndose hacia el cuello formador con ayuda de rodillos tensores de papel, motores y barras que trabajan juntamente con sensores de posición y el mecanismo de desplazamiento del plástico descrito anteriormente. Uno de los métodos más utilizados para el cortado del empaque es por medio de cuchillas de acero rápido. Este método depende también de la empresa fabricante. (MORENO, 2010)

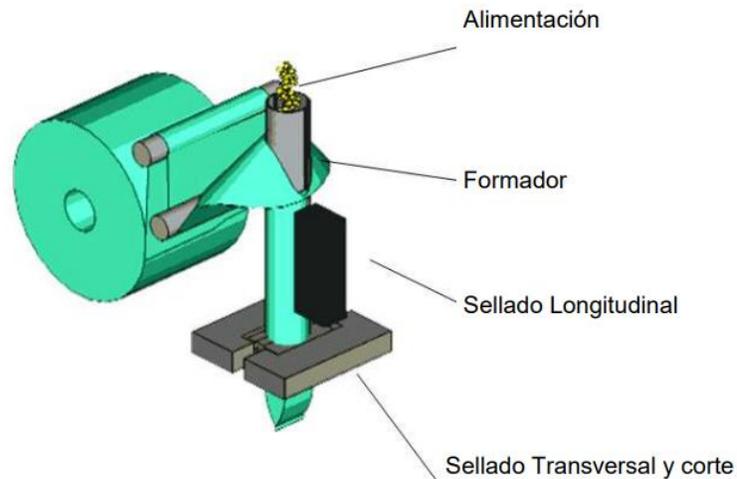


Ilustración 10 Partes de maquina empaquetadora vertical (Moreno E. , 2010)

4.12. Horizontales

Conocidas también como empaquetadoras Flow pack son similares que las empaquetadoras verticales realizando las mismas 3 operaciones dosificación, sellado de empaque y formación de empaque. Deben su nombre a como se desarrolla el proceso de empaque del producto: la máquina crea un tubo de plástico partiendo de una lámina flexible y el producto lo atraviesa hasta alcanzar una mordaza que delimitará el principio y el final del paquete. (Garcia & Gonzalez, 2009)



Ilustración 11 Empaquetadora flow pack (Ulma Packing, 2023)

Desde un eje porta bobina el material flexible que puede ser polipropileno, o un material complejo según las exigencias, pasa a través de un túnel conformador y se suelda mediante unas ruedas de soldadura a la vez que el producto a embalar viene empujado por unas paletas distanciadas hasta alcanzar el tubo de plástico que se ha formado. Siendo las paletas coordinadas con el cierre de una mordaza giratoria puesta longitudinalmente respecto al avance del film, el producto queda envasado en un paquete delimitado al principio y al final por la acción de la mordaza por el largo por la acción de las ruedas de soldadura. (Moreno E. , 2010)

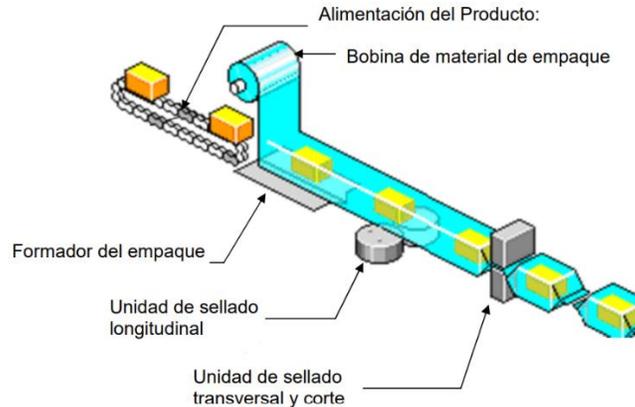


Ilustración 12. Partes de maquina empacadora horizontal (Moreno E. , 2010)

4.13. Sistemas dosificación

La dosificación es la cantidad exacta para el proceso de algo específico; este concepto se puede aplicar a productos sólidos y líquidos (Walteros, 2018). El sistema de dosificación es el encargado de suministrar de manera autónoma, uniforme y precisa una cantidad de producto. Para una adecuada selección de un dosificador se debe tomar en cuenta las características de la sustancia como su textura, composición, tamaño, forma. (Aguirre, Sistema de dosificación para una máquina empacadora de snacks., 2018)

Los sistemas de dosificación más comunes son según (Aguirre, Sistema de dosificación para una máquina empacadora de snacks., 2018) :

Tipo	Método	Mecanismo
Volumétrico	Por pistón Tornillo sin fin Vasos telescópicos Giratorios	Por compuerta rotativa Por gravedad
Por peso	Tolva de pesaje Multicabezal	Por cinta transportadora Por canal vibrante

Tabla 1. Tipo de sistemas de dosificación (Aguirre, SISTEMA DE DOSIFICACIÓN PARA UNA MÁQUINA EMPACADORA DE SNACKS, 2018)

4.13.1. Dispensado volumétrico

Estos dosificadores se pueden usar para trabajos de forma semiautomática o directamente colocados en envasadoras automáticas, su uso es muy recomendable para polvos de fácil deslizamiento, granos, etc. Se construyen en varios tamaños y modelos con cámaras de acero inoxidable y de capacidad regulable. Estos dosificadores se pueden usar para trabajos de forma semiautomática o directamente colocados en envasadoras automáticas. (Cangas, 2007)

4.13.2. Dispensado por peso

En este sistema se encuentra integrado una o más celdas de carga en la parte inferior de la tolva de dosificación encargándose de monitorear el peso del producto, generando una señal analógica la cual puede ser tratada mediante módulos o amplificadores de instrumentación, obteniendo de esta manera dosificaciones de alta precisión con un margen de error aproximado de +/- 5%.

Estos dosificadores son ideales para trabajar con cualquier producto sólido, polvo, o snack de formas irregulares. Poseen alimentador a la celda de carga de forma vibratoria, lo que evita la rotura del producto. El control del peso se realiza de forma digital, pudiendo realizar dosificaciones de alta precisión. Estos dosificadores son utilizados en las envasadoras automáticas en configuración de varios cabezales o para realizar pequeñas producciones de forma semiautomática. (Moreno, Ricardo, & Sebastian, 2018)

4.14. Tipos de empaçado

4.14.1. Empacado por fluidificación

Fluidificación es el proceso en el cual a un material granulado se le implementa una cantidad de aire o fluido, haciéndolo más ligero con el propósito de mejorar su transporte; la fluidificación usualmente se utiliza para el transporte de materiales cuyas granulometrías son muy bajas, materiales encontrados en diferentes sectores tales como lo son la industria química, minera, construcción, alimentación entre otros; este tipo de tecnología es muy eficaz para el empaçado de materiales sensibles a los rozamientos mecánicos, ya que sufren menos rozamiento entre sus partes como puede manifestarse en transportadores de tornillos y hélices o turbinas. (Tirado, Diseño y construcción de una ensacadora de cemento mortero para bolsa valvulada, 2012)

Este tipo de maquinaria es muy confiable ya que el desgaste en rodamientos, y equipos de transmisión son nulos debido a que carece de este tipo de componentes haciendo más eficaz su mantenimiento. Por lo contrario, se pueden ver válvulas de entrada del material, válvulas de presurización y descompresión y

el sistema de corte de salida de producto, componentes esenciales en este tipo de tecnología

4.14.2. Empacado por Hélices

En el empacado por hélice o también conocido como turbinas, es un elemento mecánico formado por un conjunto de sub-elementos llamados palas, que se encuentran incrustados de forma concéntrica alrededor de un eje y que giran alrededor de éste en un mismo plano. Su función es transmitir a través de las palas su propia energía cinética (que adquiere al girar) a un fluido, basándose en este principio, el ensacado por hélice tiene como esencialidad la velocidad y durabilidad de las palas en que se hace la hélice. (Duque, Diseño de una máquina empacadora de cemento mortero, 2016)

4.14.3. Tornillo sin fin

Mecanismo basado en el tornillo de Arquímedes.” Si una línea recta permanece fija en un extremo, y se hace girar en el plano con una velocidad constante, hasta hacerla volver de nuevo a la posición de la que ha partido, y junto con la recta que gira, se mueve un punto sobre la recta, también a velocidad constante iniciando su movimiento desde el extremo fijo, el punto describe en el plano una espiral.” Este mecanismo, es empleado en diferentes industrias, como en la industria alimenticia, cementera, de plásticos entre otros. (Duque, Diseño de una máquina empacadora de cemento mortero, 2016)

Para el caso del tornillo sin fin, el material se introducirá por una apertura pasando así a la camisa o artesa, donde allí el tornillo sin fin transportador helicoidal, estará en constante giro haciendo que se ejerza una fuerza entre las hélices del tornillo y el material a dosificar, empujándolo constantemente a la salida de la artesa.

4.15. Celdas de Carga o Sensor de Carga

Los sensores de peso son elementos que miden el cambio en las propiedades físicas del mismo y lo expresan en señales neumáticas, eléctricas y demás. (Aviles & Caviedes, 2011) Uno de los sensores de peso más utilizados en la industria son las celdas de carga, las cuales son sensores electrónicos los cuales reciben excitación eléctrica provocada por un peso determinado y se lo transmite hacia un indicador de peso en forma de una salida eléctrica. (Bellini, 2009)

La mayoría de las celdas de carga se basan en el uso de galgas extensiométricas, las cuales convierten el desplazamiento por deformación en señales eléctricas. La salida de la celda de carga, la mayor parte de tiempo de forma eléctrica se encuentra en el orden de unos pocos milivoltios por lo que es necesario su amplificación para poder utilizarla. (Pincay & Tigreiro, 2013)

4.15.1. Piezoeléctricas

Este tipo de celdas de carga basan su funcionamiento en la fuerza aplicada sobre cristales polarizados, que, al ejercer presión sobre ellos, se deforman y producen una señal eléctrica (Bellini, 2009). Es decir, Cuanto mayor es el esfuerzo, mayor es la carga.

No obstante, para convertir un cristal en un transductor se necesita algo más. Por lo general, los sensores contienen dos elementos de cristal y, entre ambos, se coloca un electrodo. Este electrodo recoge la carga que se forma en la cara más cercana de cada uno de los cristales. Un cable conecta el electrodo con el amplificador de carga. Por último, una envoltura metálica alberga los discos de cristal. Esta envoltura no solo protege los cristales, sino que también proporciona un segundo punto de contacto con ellos, ya que está conectada al amplificador de carga a través del blindaje del cable. (Kleckers, 2022)

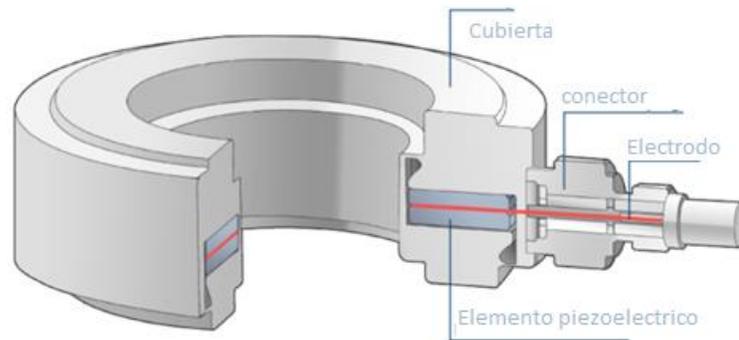


Ilustración 13. Partes de una celda de carga piezoeléctrica (HBM, 2023)

4.15.2. Capacitivas

Bellini (2009) establece que este tipo de celda de carga se basa en la modificación de la capacitancia de un capacitor por presencia de objetos sólidos. El elemento capacitivo es parte de un circuito que es excitado de manera continua por una señal senoidal de referencia. Un cambio en la capacidad produce un desplazamiento de fase entre la señal de referencia y una señal obtenida a partir del elemento capacitivo.

4.15.3. Galgas extensiométricas

Este tipo de celdas convierten la fuerza actuante sobre ellas en señales eléctricas medibles. En la mayoría de los casos se utilizan cuatro galgas extensiométricas para obtener una mayor sensibilidad y compensación de temperatura (Bellini, 2009)

Para obtener la señal correspondiente al deformado de la galga se utiliza un montaje de puente de Wheatstone, que se pueden configurar de forma simple, doble o completa (Avilés & Caviedes, 2011). El puente de Wheatstone consiste en un arreglo de cuatro resistencias, el cual es un dispositivo muy sensible a cambios pequeños en las resistencias y ese cambio es el principio fundamental de una galga extensiométrica.

Las celdas de carga están construidas en varios tipos y tamaños para diferentes aplicaciones. (RiceLake, 2018) Define los siguientes tipos de celda de carga.

4.15.4. Botella

La celda de botella es el diseño más antiguo de celda de carga. Para proteger las galgas extensiométricas, la botella es sellada herméticamente o soldada. Lo popularidad de celdas de carga de botella está declinando dado que su costo es 2 o 3 veces más que la de una celda de encorvamiento de viga. (RiceLake, 2018)

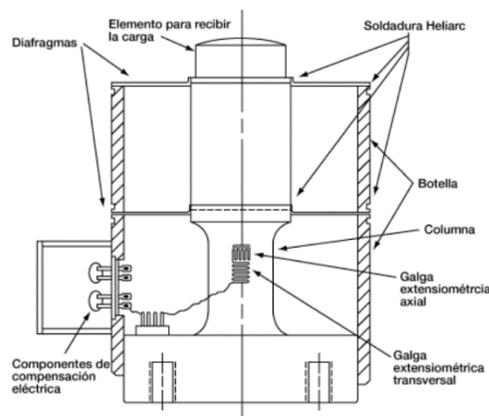


Ilustración 14. Diagrama de celda de carga tipo botella (RiceLake, 2018)

Hay dos clases de construcción de botellas: de una sola columna o de columnas múltiples. Botellas de una sola columna normalmente no pueden soportar una carga lateral de más de 15%. Celdas de botella de columnas múltiples pueden soportar más carga lateral que las de una sola columna. La celda de botella varía en tamaño de 100lbs hasta 500.000lbs.

4.15.5. Viga S

Las celdas de carga viga-S derivan su nombre de su forma, lo cual por supuesto está en la forma de la letra S. Las vigas S normalmente se utilizan en aplicaciones de tensión. Con todo, hay vigas S disponibles que son bidireccionales. Primordialmente se utilizan para conversiones de básculas mecánicas a electrónicas, básculas de plataforma, y aplicaciones de pesaje general. (RiceLake, 2018)

Varían en tamaño desde tan poco como 25lbs hasta tan alto como de 20.000lbs. Cuando montando una viga S, acuérdense de incluir el lado del cual se extiende el cable en la parte muerta del sistema. Movimiento del cable en la parte viva del sistema puede ser fuente de errores de pesaje.

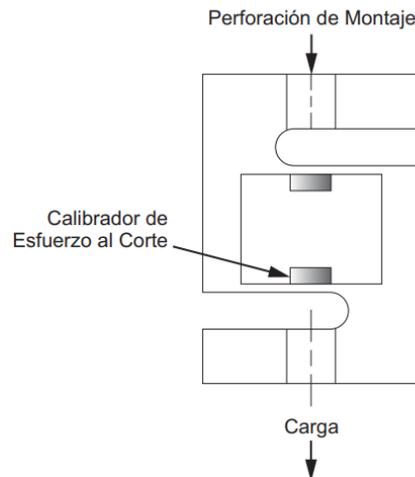


Ilustración 15. Celda de carga tipo S (RiceLake, 2018)

4.15.6. Viga al corte

La celda de viga al corte está diseñada para básculas de bajo perfil y aplicaciones de procesamiento. La cavidad de la galga extensiométrica de la celda viga al corte contiene un diafragma delgado de metal sobre el cual las galgas extensiométricas están montadas. Capacidades típicas de vigas al corte van de 1.000lbs hasta 20.000lbs, aunque algunos fabricantes ofrecen vigas al corte de hasta 40.000lbs. (RiceLake, 2018)

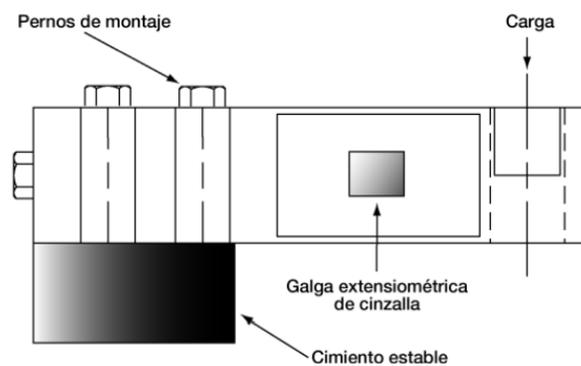


Ilustración 16. Celda de carga del tipo viga al corte (RiceLake, 2018)

Un extremo de la viga al corte tiene los huecos de montaje, mientras que el extremo opuesto es donde se carga a la celda. La celda debe ser montada en una superficie plana y lisa con pernos endurecidos de alta resistencia. Las celdas viga

al corte grande tienen más de dos huecos de montaje para acomodar pernos extras para evitar que la quincalla se estire bajo carga a tensión.

4.15.7. Doble Viga al corte

Las características de celdas de doble viga al corte son similares a las de vigas singulares al corte. La resistencia de utilizan más comúnmente en aplicaciones de básculas camioneras y de tolvas. En vez de estar sujeta a un extremo con la carga siendo aplicada al otro extremo como en el caso de la viga singular al corte, la doble viga al corte queda sujeta a ambos extremos con la carga siendo aplicada en el centro de la celda de carga. Como en todo diseño de viga al corte, las galgas extensiométricas están montadas sobre una red delgada en el centro de la cavidad labrada a máquina de la celda. (RiceLake, 2018)

4.15.8. Viga Voladiza

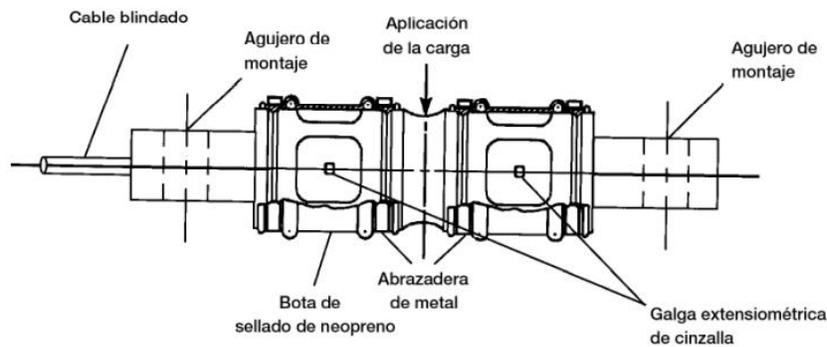


Ilustración 17. Celda de carga de doble viga al corte (RiceLake, 2018)

Las vigas voladizas son similares a las vigas al corte. A contraste con ellas, las vigas voladizas no tienen una malla delgada situada en la cavidad para la galga extensiométrica. La viga voladiza esta labrada a máquina de un lado a otro. Las galgas extensiométricas están montadas a lo largo de los bordes interiores de la cavidad. (RiceLake, 2018)

4.15.9. Plataforma

La celda de carga de plataforma a veces se denomina una celda voladiza de doble guía, pero más comúnmente se conocen como una monocelda. Se utilizan en básculas de banco de capacidad ligera. Por lo general son hechas de aluminio. Algunas básculas de plataforma tienen topes empotrados para prevenir sobrecargas. Una sobrecarga de 150% de la capacidad de la báscula es permisible en el punto central de carga en algunas celdas de carga de plataforma. Se fabrican más comúnmente en tamaños de 2kg y 2 lbs hasta 1000lb. (RiceLake, 2018)

4.16. Principios de introducción de carga

La forma exacta en la cual una carga se coloca en una celda de carga influye en el diseño de la estructura donde se instalará, así como el tipo correcto de celda de carga para la aplicación deseada. (RiceLake, 2018) define los siguientes escenarios de introducción de carga en una celda tomando por ejemplo una celda de carga de viga al corte. (RiceLake, 2018)

4.16.1. Carga ideal

Las especificaciones de las celdas de carga provienen de condiciones de laboratorio en donde la carga se aplica a las celdas de carga bajo condiciones casi perfectas. El desempeño de las celdas de carga en la aplicación actual de pesaje puede ser altamente degradado si no se tiene cuidado en la forma en la cual se aplica la carga. (RiceLake, 2018)

Bajo condiciones ideales, la superficie de montaje debe ser plana, horizontal y rígida. La carga F se introduce verticalmente (formando un Angulo de 90 grados con la celda) con un mínimo de fuerzas ajenas y la celda de carga será totalmente insensible a fuerzas diferentes a la vertical aplicada. Sin embargo, en el mundo real el montaje de la celda de carga y las condiciones de carga distan de lo ideal. La carga incorrecta es, por mucho, la causa común de problemas de precisión en el campo.

4.16.2. Carga angular

Esta condición existe cuando la carga F se introduce a través de la perforación de carga, pero en ángulo a su línea de centro de la perforación, o línea central, es decir no es aplicado de forma perpendicular. Esta fuerza angular se descompone en un componente vertical a lo largo de la línea central, lo que registra la celda de carga, y su componente horizontal a 90° de la línea central, a la cual, idealmente, la celda de carga es insensible. (RiceLake, 2018)

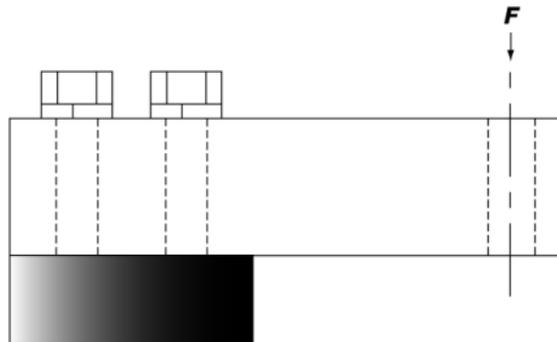


Ilustración 18. Condiciones de carga ideal (RiceLake, 2018)

4.16.3. Carga excéntrica

Esta condición existe cuando la fuerza F se aplica verticalmente, pero su línea de acción está desplazada fuera de la línea vertical de la perforación de carga. Esta

no es una condición perjudicial si la fuerza se aplica consistentemente en el mismo punto, ya que la calibración compensará este efecto. (RiceLake, 2018)

Sin embargo, si el punto de aplicación se mueve horizontalmente conforme se carga la báscula, se causará falta de linealidad y posible histéresis. Las cargas excéntricas pueden ser causadas por diseño de montaje pobre, expansión/contracción térmica de la báscula y partes dañadas

Sin embargo, si el punto de aplicación se mueve horizontalmente conforme se carga la báscula, se causará falta de linealidad y posible histéresis. Las cargas excéntricas pueden ser causadas por diseño de montaje pobre, expansión/contracción térmica de la báscula y partes dañadas

4.16.4. Carga Lateral

Esta condición existe cuando la fuerza F que está por medirse está acompañada de una fuerza lateral R aplicada a 90° de F . Esta fuerza puede ser constante, pero generalmente es una fuerza que varía con el tiempo y, por tanto, afecta la linealidad y causa posible histéresis en la báscula. La celda de carga ideal debería ser totalmente insensible a cargas laterales. Sin embargo, en la práctica estas fuerzas extrañas afectan la señal de salida de la celda de carga y 2 celdas similarmente idénticas pueden reaccionar diferente a la misma carga lateral. (RiceLake, 2018)

4.16.5. Carga de torsión

Generalmente una fuerza lateral no actúa exactamente en el eje neutral y, por tanto, produce un par de torsión o efecto de torsión además de la fuerza lateral. Una celda de carga puede estar sujeta a un par de torsión T de diferentes maneras.

Las causas de la torsión en la celda de carga son los montajes fuera de nivelación, así como expansión/contracción térmica, deflexión de la estructura bajo carga y fuerzas dinámicas laterales (causadas por mezcladoras rotativas, etc.). Ya que estas fuerzas tienden a variar en magnitud en función del tiempo, la temperatura y/o la carga, los efectos no son predecibles y degradan la precisión del sistema. (RiceLake, 2018).

4.17. Señal de Salida de una celda de carga

La señal de salida de una celda de carga se determina basado en 3 parámetros el peso que se le aplica a la celda, la magnitud del voltaje de excitación y su tasa de sensibilidad en mV/V (milivoltios por voltio) a escala completa (RiceLake, 2018). Una tasa típica de señal de salida es de $3 mV/V$. Esto significa que por cada voltio de excitación que se aplica a la celda a escala completa, habrá $3mV$ de señal de salida.

Por ejemplo, para una celda de carga con una capacidad de 50 Kg se le aplica un voltaje de excitación de 10V, quiere decir que el voltaje de salida para un peso de 50Kg es $10 \text{ V} \times 3 \text{ mV/V} = 30 \text{ mV}$. Al aplicarse sobre la misma celda un peso de 25Kg manteniendo el voltaje de excitación en 10V. El voltaje de salida será reducido en un 50% es decir $10 \text{ V} \times 1.5 \text{ mV/V} = 15 \text{ mV}$.

4.18. Indicadores de peso

Un indicador de peso digital es un elemento que comunica el peso de los artículos en la báscula (conjunto de celda de cargas) a un operador a través de una pantalla o a otra máquina a través de un puerto de comunicación. Los datos obtenidos se



Ilustración 19. Indicador de peso Ricalake 720i (Ricalake weighing system, 2023)

pueden usar para tomar una decisión o desencadenar una acción como parte de un proceso de automatización más amplio. Si bien todos

los indicadores de peso realizan esta importante tarea, existen diferentes estilos de indicadores para satisfacer las necesidades de la aplicación. (Ricalake, 2022)

Los indicadores de peso básicos brindan lecturas de peso y algunos pueden controlar procesos simples, como el procesamiento por lotes. Los indicadores de peso programables son más avanzados y pueden controlar procesos complejos que involucran múltiples puntos de datos que podrían requerir una programación personalizada. Los transmisores de acondicionamiento de señales están diseñados específicamente para integrar sin problemas los datos de peso en los sistemas PLC. Los indicadores intrínsecamente seguros brindan lecturas de peso confiables en entornos potencialmente explosivos y peligrosos. (Ricalake, 2022)

4.19. Acondicionamiento de Señal

La salida que proporciona un sensor no siempre se puede conectar directamente a un aparato de medida. Los motivos son variados: ya sea porque la salida del sensor es débil y el instrumento no es capaz de detectarla, ya porque interesa convertir la señal de intensidad o frecuencia a voltaje, o por otras razones

diversas. Es necesario entonces “preprocesar” la señal antes de que llegue al instrumento (Garcimartin, 2009).

Según (Park & Mackay, 2003) Las señales eléctricas generadas por los transductores a menudo necesitan convertirse a una forma aceptable para el hardware de adquisición de datos, particularmente el convertidor analógico-digital que convierte los datos de la señal al formato digital requerido. Además, muchos transductores requieren alguna forma de excitación o terminación de puente para un funcionamiento correcto y preciso.

Las principales tareas realizadas en el acondicionamiento de señales son:

- Amplificación
- Filtrado
- Linealización
- Aislamiento
- Excitación

4.20. Unidad de procesamiento

Es la parte principal de un sistema, es el encargado de recibir las señales provenientes de los diversos dispositivos y módulos, procesarlas, tomar decisiones de acuerdo con el programa grabado en su memoria y de esta forma actuar sobre el proceso. Dicho controlador está compuesto por los siguientes subsistemas: unidad central de procesamiento (CPU), la sección de entradas y salidas digitales, y el dispositivo de programación. (Ramírez & Blandon, 2017)

4.20.1. PLC

Se define como Controlador de Lógica Programable, (PLC por sus siglas en inglés), a un dispositivo electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la programación de determinadas funciones, que pueden ser: operaciones lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objetivo de controlar diferentes tipos de máquinas y de procesos. (Ramírez & Blandon, 2017)

4.20.2. Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene todos los elementos de un procesador digital secuencial síncrono programable de arquitectura Harvard o Von Neumann, básicamente en su interior contiene una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria (RAM y ROM), puertos de entrada. Por su tamaño los microcontroladores permiten empotrar un procesador programable en muchos productos industriales, su coste reducido y su consumo de energía y velocidad adaptables resulta apropiado para numerosas aplicaciones en las áreas de control y comunicaciones. (Mandado-Perez, 2007)

4.20.3. Microcomputadoras

Una computadora de placa única (SBC por sus siglas en inglés) es una computadora completamente funcional construida en una placa reducida, con microprocesador, memoria, puertos de entrada-salida y otras funcionalidades adicionales para aplicaciones de propósito general. En la mayoría de los casos estas funcionalidades están incluidas en un chip monolítico llamado Sistema en un Chip (SoC por sus siglas en inglés). (Rodríguez, Hernández, & Ramírez, 2018)

Aunque la aparición de las SBC puede remontarse hasta hace más de 30 años, solo hace unos pocos años que se amplió su uso en el campo de la ingeniería eléctrica y automática con el surgimiento de modelos de baja potencia, costo reducido y bien soportados por la comunidad de desarrolladores como la Raspberry Pi y la BeagleBone Black.). (Rodríguez, Hernández, & Ramírez, 2018)

4.21. Actuadores

Los actuadores son responsables de mover y controlar un mecanismo o sistema, por ejemplo, mediante la apertura de una válvula. Son los encargados de convertir una señal enviada desde el controlador, ya sea de tipo discreta o continua en un fenómeno físico. (Erickson, 2016)

4.21.1. Motores eléctricos

Los motores eléctricos son máquinas rotativas que transforman la energía eléctrica en movimiento o trabajo mecánico. Dependiendo del tipo de corriente que los alimenten, se clasifican en motores de corriente continua y alterna. Los motores de corriente alterna son los que más se utilizan para la mayor parte de las aplicaciones, ya que producen un buen rendimiento bajo un mantenimiento y construcción sencillos. (Guerrero, 2011)

4.21.2. Motores AC Asíncrono trifásico

Es un elemento actuador que se alimenta con tres fases, en el cual su rotor gira a una velocidad diferente a la del campo magnético del estator. El motor asíncrono trifásico está formado por un rotor, que puede ser de dos tipos: de jaula de ardilla o bobinado, y un estator, en el que se encuentran las bobinas inductoras. (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

4.21.3. Motores AC asíncronos monofásico

Los motores síncronos son un tipo de motor de corriente alterna en el que la rotación del eje está sincronizada con la frecuencia de la corriente de alimentación; el período de rotación es exactamente igual a un número entero de ciclos de CA. Su velocidad de giro es constante y depende de la frecuencia de la tensión de la red eléctrica a la que esté conectado y por el número de pares de polos del motor, siendo conocida esa velocidad como “velocidad de sincronismo”. Este tipo de motor contiene electro magnetos en el estátor del motor que crean un

campo magnético que rota en el tiempo a esta velocidad de sincronismo. (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

4.22. Elementos para circuitos de automatización

4.22.1. Contactores

Es un dispositivo de múltiples interruptores que se encuentran en dos estados ya sea con normalidad abiertos y normalmente cerrados que al inducirle corriente en su bobina produce un campo electromagnético que altera instantáneamente atrayendo o separando dichos contactos, tiene el mismo funcionamiento que el relé a diferencia que este maneja potencias altas, normalmente es utilizado en la industria para arranque de motores. (Gómez & Castro, Diseño de un módulo didáctico para el laboratorio de automatización de la carrera de ingeniería electrónica., 2019)

4.22.2. Relevador térmico

Un relevador térmico es un dispositivo sensible a la temperatura, cuyos contactos abren o cierran cuando la corriente del motor excede un límite preestablecido. La corriente circula a través de un elemento de calentamiento pequeño que alcanza la temperatura del relevador. (Harper E. , 2005)

Su función es proteger los diferentes dispositivos a las sobre corrientes. Deben ser instalados después del contactor, de tal manera que brinde seguridad en caso en que uno de sus contactos se quede pegado o no funcione correctamente, corriendo el riesgo de dejar solo dos fases, lo que ocasionara grandes daños a los sistemas conectados (Gómez & Castro, Diseño de un módulo didáctico para el laboratorio de automatización de la carrera de ingeniería electrónica., 2019)

4.22.3. Lámparas pilotos

Son lámparas instaladas con el propósito de indicar si algún tablero o línea se encuentra energizada o bien simplemente para indicar algún proceso. La norma IEC 60204-1 (International Electrotechnical Commission, 2021) establece el código de colores para luces piloto y pulsadores iluminados, de la siguiente manera:

4.22.4. Piloto Rojo

Emergencia, condición peligrosa se requiere una acción inmediata (presión fuera de límites, sobre recorrido, rotura de acoplamiento etc.).

4.22.5. Piloto Amarillo

Anormal, condición anormal que puede llevar a una situación peligrosa (presión fuera de los límites, activación de una protección etc.).

4.22.6. Piloto Blanco

Neutro, información general (Presencia de tensión de red, etc.).

4.22.7. Pulsador Amarillo

Anormal, acción en caso de condiciones anormales (poner de nuevo en marcha un ciclo automático interrumpido, etc.)

V. Diseño metodológico

5.1. Tipo de investigación

La investigación realizada en este trabajo monográfico es del tipo aplicada debido a que su propósito principal fue la búsqueda de solución de un problema práctico, utilizando los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera. El proyecto consiste en el diseño de un controlador electrónico para la automatización del proceso de pesado de un sistema tipo Valve Bag, en el rango de 10 a 25Kilogramos. El cual contribuirá en un aumento en la productiva del proceso de empaquetado y confiabilidad del producto empaquetado.

5.1.1. Método de investigación

La metodología utilizada es del tipo cuantitativa, ya que fue posible validar la funcionalidad del sistema desarrollado mediante la medición del error del sistema de pesaje, diseño con la realización de experimentos, y se logró determinar que se han cumplido los objetivos propuestos al inicio de la investigación.

Las etapas en la que se desarrolló el proyecto son las siguientes:

5.2. Etapa de análisis

Esta etapa inició con una serie de entrevistas con los interesados del proyecto y un análisis descriptivo, se redactó la problemática en el proceso de empaquetado. El siguiente paso fue realizar un estudio y evaluación del sistema Valve Bag seleccionado que necesitaba ser automatizado. Estudiando sus características principales, modo de funcionamiento, elementos que la componen.

En esta etapa se realizó el proceso de búsqueda información de distintas fuentes tanto primarias como secundarias, acerca de trabajos relacionados a sistemas de pesaje y de los distintos sistemas de empaquetados utilizados en la industria.

Para finalizar esta etapa se determinaron cuáles son los requerimientos técnicos que debe cumplir el sistema, y las tecnologías que mejor se adaptaron a los requerimientos solicitados para el cumplimiento de los objetivos.

5.3. Etapa de diseño:

En esta etapa se realizó el diseño del controlador que se encarga de automatizar el proceso de pesado del sistema de tipo Valve Bag el cual está conformado por 4 componentes principales:

5.3.1. Sistema de adquisición y acondicionamiento de datos

Este sistema cuenta con una celda de carga como sensor principal la cual debe ser instalada en el interior de una estructura adecuada para contener el material a pesar formando así un bascula digital.

Este sistema cuenta con un circuito transmisor de peso que es el encargado de captar la señal del proceso, procesarla y transmitirla. Por lo que el circuito diseñado brinda el voltaje de excitación para que la celda de carga logre operar y generar una señal salida.

Sin embargo, la salida de la celda de carga es diferencial y sus variaciones en el rango de los microvoltios. Por lo tanto, el sistema acondiciona la señal de salida amplificándola al rango de operación utilizado por el microcontrolador. Además, el amplificador es de ganancia ajustable lo que permite la calibración del transmisor para que pueda operar con celdas de distintas capacidades garantizando obtener escala completa y evitando threshold.

Adicionalmente, se incorporó un circuito restador para el ajuste del punto cero (0V), esto para fines de calibración del sistema de medición sin carga, pues permite eliminar la salida producida por el peso de la estructura de la báscula y la tara

Por último, el transmisor convierte la señal analógica a bits. La digitalización se hace utilizando un ADC externo para tener un mayor nivel de resolución y que reduzca el uso de recursos del controlador.

5.3.2. Sistema de control de potencia

Debido que se deseaba automatizar el proceso de pesado se agregó la capacidad de controlar los actuadores del sistema valve bag. Debido a que se trataban de motores trifásicos el microcontrolador no era capaz de accionarlos directamente por lo cual se crearon drivers basados en SSR que se encargan de este acoplamiento. De modo que el controlador ahora es capaz de accionar y desactivar dichos motores.

5.3.3. Diseño de HMI

El usuario a través del HMI puede establecer las configuraciones necesarias para el proceso como el peso específico que deben contener el material empacado. Así como también establecer el modo de operación y detener el proceso en caso de emergencia. También el HMI notifica al usuario el estado actual del proceso, el peso del material contenido en el empaque, cantidad de sacos llenados durante el proceso y notificar errores.

5.3.4. Selección del controlador

El microcontrolador seleccionado tiene un programa desarrollado en lenguaje C que se encarga de definir los tiempos de muestreo, controlar el ADC, obtener sus mediciones de la variable peso, convertirlas de voltaje a la magnitud correspondiente en Kilogramos y encargarse del accionamiento de los diferentes

componentes del sistema valve bag además que recibe la configuraciones y solicitudes ingresadas por el usuario a través del HMI.

Por último, en esta etapa se realizó el diseño de las tarjetas de circuito impreso (PCB) de cada uno de los módulos.

5.4. Etapa de evaluación

Para la evaluación se realizaron simulaciones de cada módulo por separado en donde se evaluó el correcto funcionamiento de cada uno de ellos, se calculó el error y exactitud del sistema de adquisición donde se confirmó que está dentro del rango permitido. También se realizó la implementación de un prototipo físico a escala para realizar una validación más precisa del diseño propuesto, reemplazando algunos componentes por versiones equivalentes más económicas. Por razones de facilidad y rapidez de adquisición, pero que es capaz de replicar el proceso completo.

5.5. Recursos para el diseño

Las herramientas utilizadas consisten principalmente en herramientas de software para diseño, simulación y programación del sistema, las herramientas son las siguientes:

5.5.1. Proteus Design Suite

Es un software de diseño electrónico, desarrollado por Labcenter Electronics Ltd., que consta de los dos programas principales: Ares e Isis utilizados para diseño y simulación. Los módulos VSM y Electra con este programa se realizó el diseño de las PCB.

5.5.2. Arduino IDE

Es un entorno de programación que ha sido empaquetado como un programa de aplicación; es decir, que consiste en un editor de código, un compilador, un depurador, un constructor de interfaz gráfica (GUI) además incorpora las herramientas para cargar el programa desarrollado ya compilado en la memoria flash del hardware.

5.5.3. CADe-Simu

Se trata de un software de diseño electrónico, que sirve para elaborar o realizar esquemas de mando o potencia. Su funcionamiento se basa en introducir los símbolos eléctricos de forma organizada como librerías. Posteriormente, el sistema traza un esquema eléctrico de manera fácil y rápida a fin de realizar la simulación. Luego de esto, el programa visualiza el estado del componente eléctrico, así como resaltar los conductores eléctricos de la corriente eléctrica. La última versión de este software agregó soporte para conexión de Arduino UNO.

5.5.4. PC-Simu

El simulador PC SIMU es uno de los programas para simular distintos procesos industriales, circuitos eléctricos y electromecánicos de forma gráfica. PC SIMU trabaja cuenta con soporte para diferentes elementos entre los más comunes se encuentran: interruptores, variaciones de velocidad, depósitos de sólidos, actuadores neumáticos, barras de progreso, imágenes en formato BMP, pulsadores, etc. Además, permite la integración con el software Cade-Simu para realización de simulaciones más complejas.

5.5.5. SolidWorks

Es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software que ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.

VI. ANALISIS, DISEÑO Y PRESENTACION DE RESULTADOS

En el Marco teórico fueron presentados elementos teóricos/tecnológicos de los diferentes componentes que conforman la solución propuesta. En este capítulo se presentan los aspectos relacionados con el diseño e implementación del sistema, además se describe la metodología adoptada, pruebas y resultados obtenidos en la implementación del proyecto.

La investigación realizada es del tipo aplicada debido a que el propósito principal es la búsqueda de la solución a un problema práctico, utilizando los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera. Consistiendo en el diseño de un controlador electrónico para la automatización del proceso de pesado de una empacadora Valve Bag.

La metodología adoptada es del tipo cuantitativa, ya que es posible validar la funcionalidad del sistema desarrollado mediante la realización de experimentos con base en la medición numérica y estadística determinando así si se han cumplido los objetivos propuestos al inicio de la investigación.

Las etapas en la que desarrolla el proyecto son etapa de análisis, etapa de diseño y etapa de presentación de resultados.

6.1. Etapa de análisis

En esta etapa se realiza una breve descripción del proceso actual, además de plantear cuales son los requerimientos que debe cumplir el sistema a desarrollar en base a la revisión de literatura y entrevista con los interesados para cumplir con cada uno de los objetivos propuestos.

6.1.1. Diagrama del proceso de empaqueo actual

El proceso de llenado actual es realizado en su totalidad por el operario. Primero, se enciende la empacadora y se inserta la bolsa valvulada para iniciar el proceso de llenado. El operario activa el agitador y dosificador para llenar la bolsa y luego los desactiva para retirarla una vez que está llena. Después, la bolsa se coloca en una báscula situada cerca de la empacadora para confirmar que se ha llenado a la capacidad deseada. Si no es así, se repite el proceso para agregar la cantidad faltante.

Sin embargo, en caso de que el peso del contenido sea mayor al deseado, debido a la estructura de la bolsa valvulada y la naturaleza del material (polvo), no es

posible retirar el excedente, lo que resulta en pérdidas. En la ilustración 20 se muestra el diagrama de flujo del proceso de empacado actual.

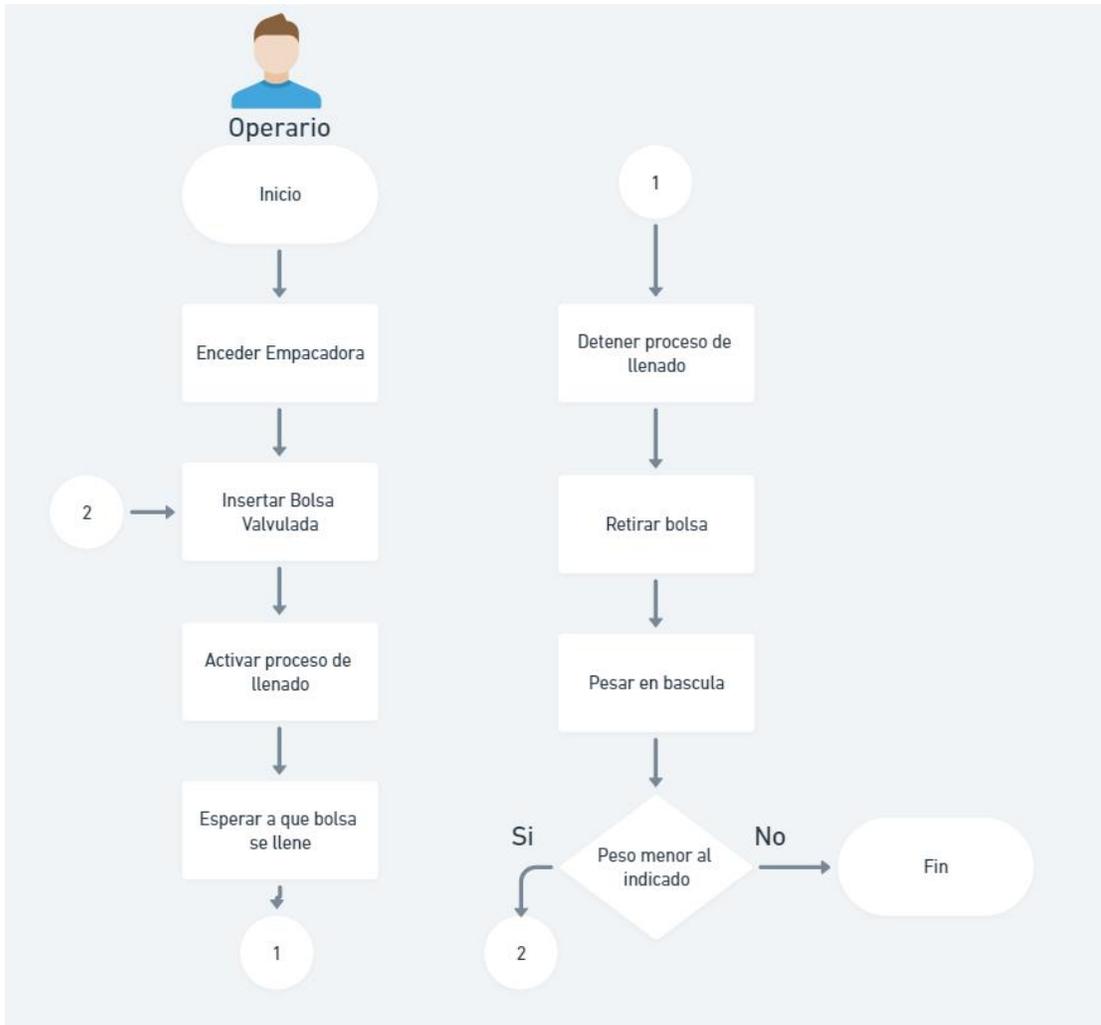


Ilustración 20 Diagrama de flujo del proceso actual (Fuente Propia, 2023)

6.1.2. Análisis y descripción de empacadora Valve Bag

La empacadora Valve Bag para el caso de estudio marca EBS está compuesta principalmente de dos partes: una cámara donde almacena temporalmente el material a ser empacado, dicha cámara tiene una capacidad máxima de 70kg de material. La Empacadora es alimentada con el material a empacar a través de una compuerta en la parte superior de la misma. Para evitar compresiones en el material la primera etapa de la cámara cuenta con un agitador accionado por un motorreductor.

Para hacer el empaque y la dosificación del material, en la segunda parte de la cámara existe tornillo sin fin del tipo helicoidal el cual sale de la cámara mediante una boquilla que se inserta en la bolsa valvulada para la dosificación final del material y es accionado por un motor trifásico. El material del que está fabricado la cámara, helicoides, bridas y eje es acero inoxidable 304 (grado alimenticio). El diagrama de la empacadora con los principales elementos de la empacadora se muestra a continuación.

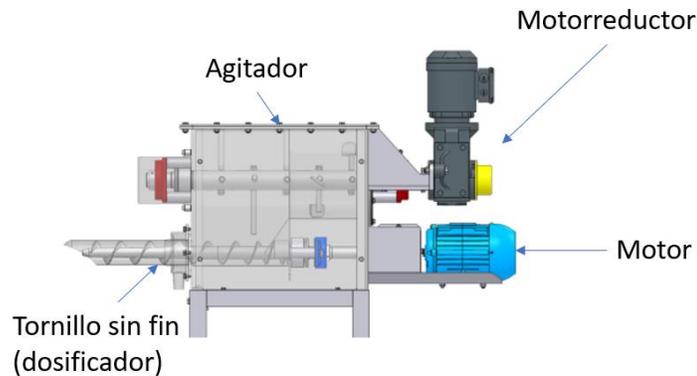


Ilustración 21. Elementos principales de la empacadora (EBS, 2017)

La segunda parte de la empacadora es un soporte para la cámara y un soporte para la bolsa valvulada que se llenará, esta estructura es construida en acero al carbono. El peso total de todo el equipo es de 250kg. El diagrama de la toda la empacadora con sus dimensiones se observa en la ilustración 22.

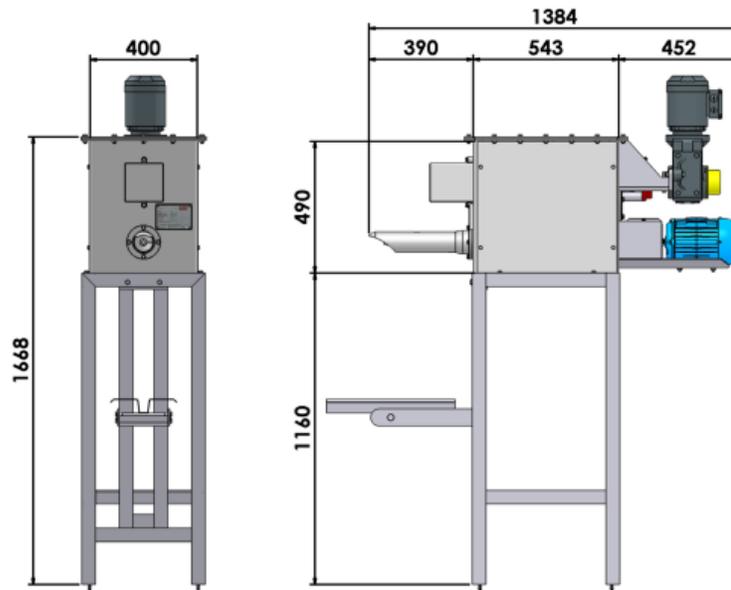


Ilustración 22. Dimensiones de la empacadora en mm (EBS, 2017)

Las características del motorreductor encargado del accionamiento del agitador se presentan en la siguiente tabla:

Modelo	SEW faf47dre80m4
RPM de salida del motor	1730 rpm,
RPM de salida	31 rpm
Torque de salida	345 Nm
Potencia de salida	1.1 Kw
Voltaje	220V / 380V
Corriente nominal	4.35 A / 2.55 A
Protección del motor	IP55
Peso neto	35 kg

Tabla 2. Especificaciones técnicas motorreductor para agitador

Las características del motor encargado de accionar el tornillo sin fin para el dosificado se describen en la siguiente tabla

Modelo	Weg
Velocidad en RPM	1735 rpm,
Numero de polos	4
Voltaje	220V / 380V/ 440V
Corriente	8.18 A/ 4.74 A/ 4.09A
Protección del motor	IP55
Peso neto	23 kg

Tabla 3. Especificaciones técnicas motor para tornillo sin fin

Modo de operación: La empacadora actualmente cuenta con únicamente un modo de operación manual realizado con un panel eléctrico. El cual consiste en los siguientes elementos

1. Pulsador de encendido del equipo
2. Pulsador para encendido motorreductor para la activación del agitador, este debe quedar encendido durante todo el proceso de producción, no hay necesidad de desactivar.
3. Selector para encendido del motor que activa el dosificador, para el llenado de la bolsa con el material. Una vez la bolsa sea llenada se desactiva el motor para detener el dosificado.
4. Pulsador para apagado del equipo.

6.1.3. Propuesta de estructura de báscula

Como se pudo observar en el inciso anterior todo el proceso de llenado se realiza de forma manual y no existe monitoreo del peso del contenido depositado en la bolsa. Para la correcta incorporación de un sensor para la medición del peso se necesita definir el tipo medición basado en la ubicación del sensor y de una estructura adecuada donde se ubicará el sensor.

Debido a las dimensiones de la empacadora y de la planta se descartó tener un sistema de peso neto debido a que no era posible incorporar una tolva acumuladora y una tolva de pesaje a la entrada de la empacadora. Por lo que aprovechando el soporte existente de la empacadora se optó por tener un sistema de peso bruto. Es decir, colocar el sensor a la salida de la empacadora para pesar el material en la bolsa a medida que se llena. Adema este tipo de llenado es más preciso debido el pesado se realiza en el contenedor final evitando así pérdidas.

Para la estructura de donde se ubicará el sensor se ha descartado agregarlo en la boquilla de salida del material debido a que este debe ser insertado en la manga de la bolsa valvulada, en su lugar se ha planteado el diseño de una báscula de carro móvil que se puede observar en la ilustración 23.

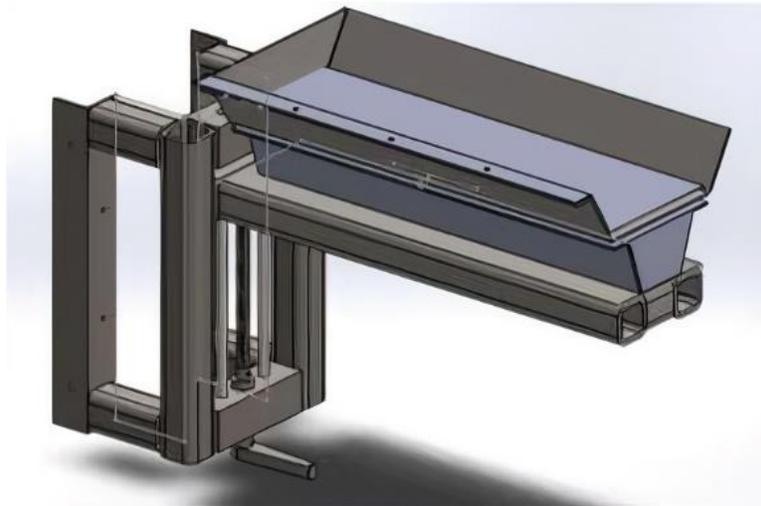


Ilustración 23. Báscula de carro móvil propuesta (Ipsisa, 2022)

Esta báscula se instalará en sustitución del soporte para la bolsa valvulada a como se observa en la ilustración 24 y está construida en acero inoxidable 304. La báscula está equipada con un conjunto de manivela, tornillo y guías que se encarga de desplazar verticalmente el soporte de la báscula de modo que el peso de dicha bolsa repose sobre el soporte de la báscula en lugar de la boquilla de salida de la empacadora. El ajuste de altura permitirá también poder empacar diferentes presentaciones de bolsas valvulada.

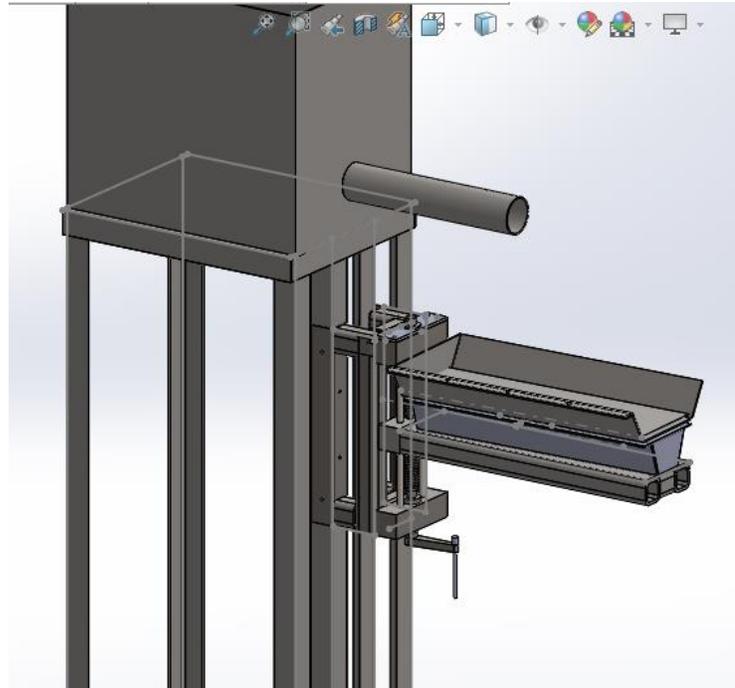


Ilustración 24. Simulación de báscula de carro móvil instalada en empacadora (Ipsisa, 2022)

6.1.4. Requerimientos del sistema

Los requerimientos del sistema han sido definidos basados en la información obtenida de la revisión de literatura y en acuerdo con la empresa que solicita el sistema. La carta de acuerdo puede ser visualizada en la sección de anexos.

- El sistema de medición a desarrollar debe contar con un rango de trabajo entre 1KG a 50KG con una precisión mínima de 50g.
- El rango de tolerancia del sistema de medición de ser 3 veces el valor de división es decir un error máximo ± 150 gramos.
- El sistema de medición debe ser herméticamente sellado debido al ambiente en que estará instalado.

- El controlador debe contar con la capacidad accionar y detener la etapa de dosificado basado en las mediciones del peso y eventos externos. Por lo que debe ser capaz de controlar motores trifásicos.
- Se debe contar una interfaz humano-máquina (HMI) que permita al operario establecer las configuraciones de operación como el peso específico que deben contener el empaque basado en las presentaciones permitidas 10Kg, 15Kg, 20KG y 25Kg y cantidad de bolsas a llenar.
- El controlador seleccionado debe ser flexible para futuras integraciones como sistemas de almacenamiento de datos y comunicación inalámbrica.

6.2. Etapa de diseño del sistema

En este apartado se explica el proceso que se realizó para el diseño del sistema comenzando con un esquema general y luego describiendo cada uno de los bloques de este. Observando un orden secuencial similar al que sigue la señal a medir desde el momento en el que se adquiere hasta el momento en que se visualiza y las acciones producidas basadas en las mediciones y la lógica programada en el microcontrolador.

De forma paralela a la explicación del diseño se abordarán análisis teóricos con el fin de mostrar la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos.

6.2.1. Esquema General del sistema

La propuesta desarrollada se puede observar como un conjunto de subsistemas. El sistema de adquisición de datos el cual se instalará en el interior de la estructura de la báscula para obtener y monitorear el peso de la bolsa valvulada. El sistema de control de potencia para el accionamiento y desactivación tanto del agitador como del dosificador y una HMI para la interacción con los operarios. Adicional a los bloques formados por el HMI, circuito transmisor, microcontrolador y fuente de alimentación se considera un subsistema llamado Indicador de peso.

Todos estos subsistemas se conectan a una unidad central de procesamiento (microcontrolador) el cual se encargará de gestionar las diferentes señales de entrada y generar las instrucciones de control correspondientes. el diagrama de bloques del proyecto se muestra en la ilustración 25.

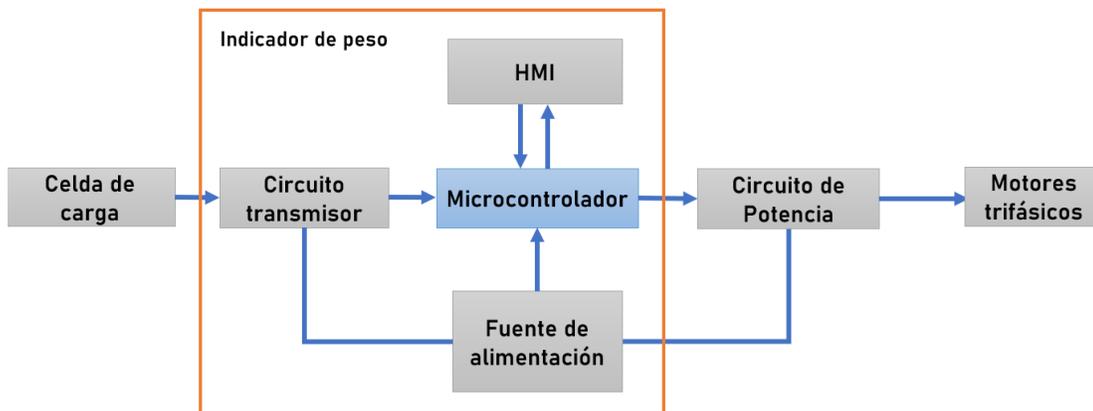


Ilustración 25. Diagrama de bloques del proyecto (Fuente Propia, 2023)

6.2.2. Sensor

Como este proyecto consiste en la automatización de un proceso de pesado, se desea registrar el peso del material depositado en el empaque, por lo que el transductor a utilizar debe ser una celda de carga, el costo de estos sensores oscila desde unos cuantos dólares hasta miles de dólares, este precio se determina por distintos factores como: el diseño interno, rango de medición, salida a escala completa, impedancia de salida y entrada, voltaje de excitación, precisión, protección contra el ambiente, entre otros.

En términos generales se debe escoger la celda de carga a utilizar basado en la aplicación que se desee trabajar, tipo de montura de la estructura donde se instalara, el ambiente donde se encontrara y la forma en que se introduce la carga.

Como se explicó en el marco teórico, existen muchos tipos de celdas de carga y para este trabajo se decidió utilizar la celda de carga basada en galgas extensiométricas. Dentro de la clasificación de este tipo de celdas de carga se encuentran botella, viga al corte, doble viga al corte, viga en S.

Basado en la capacidad del sistema solicitado en los requerimientos se ha descartado el uso de celdas de carga del tipo botella y doble viga al corte, puesto que estos están diseñados para montajes de altas capacidades. También se ha descartado el uso de celdas de carga de Viga-S debido al montaje de la báscula propuesto no es de suspensión en tensión. Por lo que la elección final del tipo de celda de carga será celda de carga de viga al corte.

La capacidad seleccionada para la celda de carga es de 50Kg pues, aunque la bolsa de mayor presentación es de 25Kg, se debe dejar un margen para el peso introducido por la estructura de la báscula y en caso de que se desee introducir

en un futuro presentaciones mayores, asegurándose así evitar el quiebre mecánico de la celda de carga.

En la siguiente tabla se presentan las características de distintos modelos de celda de carga del tipo viga al corte, y a partir de los cuales se evaluó y se decidió cual modelo era el más adecuado para la implementación del circuito.

Modelo	Capacidades disponibles	Protección contra ingresos	Voltaje de excitación	Salida de escala completa	Precio (USD)
563RS	5-500Kg	IP68	10VDC	2.0 mV/V \pm 25%	505
RL9018SS	5-500Kg	IP68	5-10VDC	2.0 mV/V \pm 10%	524
LCS9	250Kg-500Kg	IP67	5-12VDC	3.0 mV/V \pm 25%	294
ZQA 1054	10-100Kg	IP67	5-15VDC	2.0 mV/V \pm 10%	425

Tabla 4. Evaluación de distintas celdas de carga.

En base a los datos presentados en la tabla anterior, se ha optado por la utilización **Rice Lake RL9018SS** en su versión de 50kg. Pues es la que mejor se adapta a los requerimientos solicitados, además de ser la que presenta menores dimensiones y protección ante las vibraciones de la propia empacadora.

6.3. Circuito transmisor de peso

El circuito transmisor es el encargado de captar la señal del proceso, procesarla y transmitirla. Por lo que el circuito a diseñar debe brindar el voltaje de excitación para que la celda de carga logre operar y generar una señal salida. Puesto que la señal proveniente del sensor seleccionado es una señal que presenta variaciones voltaje de bajo nivel en el orden de los μ v y su salida a escala completa es de 2mv/v también debe incorporar un amplificador que permita convertir la señal a escala completa en el rango de operación del microcontrolador (0-5V).

Además, el amplificador es de ganancia ajustable lo que permite la calibración del transmisor para que pueda operar con celdas de distintas capacidades garantizando obtener escala completa y evitando threshold. Adicionalmente, se incorpora un circuito restador para el ajuste del punto cero (0V), esto para fines de calibración del sistema de medición sin carga, pues permite eliminar la salida producida por el peso de la estructura de la báscula y la tara.

Por último, el transmisor debe convertir la señal analógica a bits para que pueda ser entendida por el microcontrolador por lo que se debe incorporar como última etapa un conversor analógico digital. En la siguiente ilustración se muestra el diagrama de las etapas que contendrá el circuito transmisor que se ha diseñado.

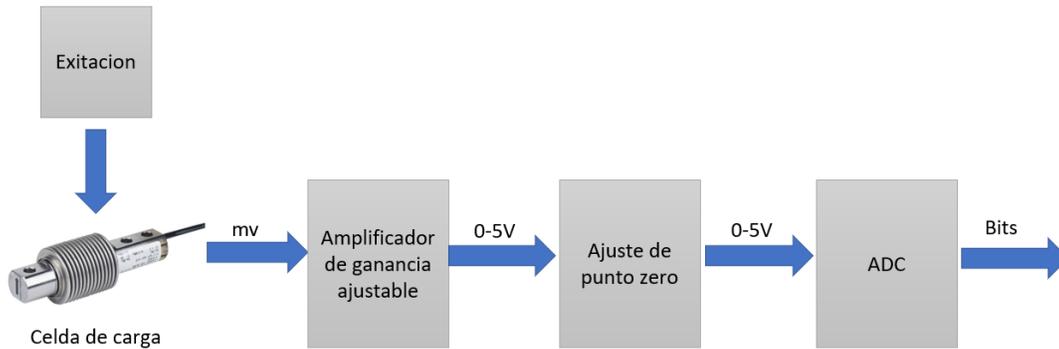


Ilustración 26. Diagrama de circuito transmisor de peso (Fuente Propia, 2023)

6.3.1. Excitación:

Debido a que el interior de la celda de carga se encuentra un puente de Wheatstone compuesto por galgas extensiométricas, es necesario la aplicación de un voltaje externo de alimentación para poder generar una salida. Es por esto por lo que la salida de la celda de carga no solo es determinada por el peso aplicado, sino también por la magnitud del voltaje de excitación y su sensibilidad de la celda.

Es de suma importancia que el voltaje de excitación aplicado sea lo más estable posible pues cualquier variación de este hará que cambie la relación existente entre el peso aplicado y el voltaje de salida causando así imprecisión en la señal de salida.

Se busca entonces circuito cuyo voltaje de salida tenga un rango de variación muy pequeño alrededor del voltaje nominal y que sea lo más estable posible ante variaciones de temperatura, entrada y carga. Por lo que este circuito está compuesto principalmente de un regulador de voltaje.

Para realizar una adecuada selección de los reguladores se necesita primero saber la corriente que debe poder entregar cada uno de ellos para alimentar a la celda de carga. Para ello se necesita saber la resistencia de entrada de la celda de carga, pues es la resistencia medida entre las terminales de excitación de esta. Basado en la hoja de datos de la celda RL9018SS esta resistencia es de $400 \pm 20\Omega$. Considerando el error máximo por lo que resistencia sería de 380Ω y un voltaje de excitación de 5V, corriente que consume el circuito es de 13.15mA.

Comercialmente se pueden encontrar circuitos reguladores compuestos por varios tanto del tipo lineal como conmutado, por lo que para la selección del modelo más adecuado se tomaran en cuenta las siguientes características: voltaje drop-out, corriente máxima de salida, error de voltaje a la salida, precio.

Modelo	Corriente máxima(ma)	Voltaje drop-out (v)	Error del voltaje de salida (v)	Precio (USD)
LM7805	1000	2	±0.2V	2.57
LF120CV5V	1000	1	±0.15V	1.66
LD1117	950	1.2	±0.05V	0.81
MAX666	40	0.9	±0.25V	5.86

Tabla 5. Evaluación de distintas celdas de carga

En base a los datos presentados en la tabla anterior, se ha optado por la utilización **LD1117** que actúa como fuente y proporciona el voltaje de excitación necesario para la celda de carga.

6.3.2. Amplificador de ganancia variable

La señal de la celda de carga es diferencial y en el rango de los mv, teniendo esto en cuenta se decide amplificar esta salida por medio de un amplificador de instrumentación pues dicha configuración puede conseguir altos valores de CMR mayor y además la ganancia puede modificarse fácilmente cambiando únicamente una resistencia.

Comercialmente se pueden encontrar gran variedad de INAs diseñados para desempeñarse de manera óptima en distintas aplicaciones, es por esto que para elegir el que mejor se acomoda para el propósito requerido es necesario definir los parámetros que son más importantes para el sistema.

El amplificador se encarga amplificar la señal de salida de celda de carga para mejorar la relación señal a ruido y poder utilizar todo el rango de entrada del conversor analógico digital, y al ser la primera etapa después de la salida del sensor este es el elemento que maneja los niveles de voltajes más bajos por lo que es necesario que sea el que mejor desempeño tenga en lo que se respecta a ruido.

Otros parámetros importantes son el CMR como se mencionó anteriormente, el tipo de alimentación pues se desea evitar tener que utilizar fuentes negativas, que presente una salida rail to rail de manera que no se tengan que utilizar voltajes más altos para su alimentación y el precio pues se busca que el costo del sistema sea relativamente bajo.

Modelo	Fuente simple	Salida rail to rail	Rechazo al modo común db	Error en ganancia Máximo%	Precio (USD)
AD620	No	No	100	0.40	23.17
AD623	Si	Si	110	0.10	6.21
MAX4194	Si	Si	115	0.10	6.39
INA118	No	No	110	0.5	17.29

Tabla 6. Evaluación de distintos amplificadores de instrumentación.

En base a los datos presentados en la tabla anterior, se ha optado por la utilización **AD623** que actúa como amplificador para aumentar la salida del sensor de mv a V.

La ganancia del amplificador de instrumentación elegido puede ser establecida por medio de una resistencia externa obteniendo valores entre 0 y 60 dB (1000 lineal) (Analog Device, 2020), para escoger la ganancia a utilizar es necesario conocer el nivel de voltaje de salida de la celda de carga. La amplitud máxima de la salida de la celda selecciona para este tipo de aplicación es de 2mv por voltio de excitación (Rice Lake Weighing Systems, 2023). Por lo que la salida máxima será de 10mv para un voltaje de excitación de 5V se tiene entonces que la ganancia necesaria para emplear todo el rango de alimentación es de 500.

Sin embargo, la salida de escala completa de la celda de carga seleccionada es para cargas de 50Kg. Por lo que en caso de querer aumentar la precisión para ajustarse a las presentaciones más pequeñas de las bolsas a llenar se necesita ajustar la ganancia. Por lo que para facilitar el proceso de calibración debe ser posible variar la resistencia que ajusta la ganancia del amplificador de instrumentación.

Se debe tener en cuenta que aumentar la ganancia calculada de 500 significa reducir el rango de operación de 50Kg, pues, aunque la celda de carga tenga dicha capacidad el amplificador llegara al punto de saturación antes de los 50kg, lo que puede causar errores en la medición o daños a nivel eléctrico de los componentes.

Se ha decidido entonces que la salida del amplificador de instrumentación sea una ganancia máxima de al menos 800 una ganancia mínima de al menos 100. Para lograr esto se necesita entonces que la resistencia RG sea compuesta por una resistencia con valor fijo y un potenciómetro de precisión conectado en serie, de

forma que cuando el potenciómetro este en su valor mínimo de 0Ω se alcance la ganancia máxima y en su valor máximo la ganancia mínima.

La ecuación para calcular la ganancia del amplificador de instrumentación según su hoja de datos es la siguiente:

$$G = \frac{100K\Omega}{RG} + 1$$

Ecuación 1 (Analog Device, 2020)

Para el caso de este trabajo monográfico RG al estar compuesto por un par de resistencias queda de la siguiente manera:

$$G = \frac{100K\Omega}{R1 + Rv} + 1$$

Ecuación 2

Donde R1 es la resistencia es la resistencia constante y Rv la resistencia variable por el potenciómetro de precisión. Para calcular resistencia R1 donde la ganancia será máxima se asume RV=0. Al despejar el valor de R1 y reemplazar el valor de G por la ganancia deseada de 800 se calcula de la siguiente manera:

$$R1 = \frac{100K\Omega}{800 - 1}$$

Ecuación 3

$$R1 = 125\Omega$$

Sin embargo, el valor comercial de resistencia más cercano es de 120Ω por lo que la ganancia obtenida al hacer $R1 = 120\Omega$ es de 834.33. Para el siguiente escenario para calcular la ganancia mínima la ecuación queda de la siguiente manera:

$$100 = \frac{100K\Omega}{120 + Rv} + 1$$

Ecuación 4

Al despejar para calcular Rv la ecuación queda de la siguiente manera:

$$Rv = \frac{100K\Omega}{100 - 1} - 120$$

Ecuación 5

$$Rv = 890\Omega$$

Sin embargo, el valor comercial de potenciómetro más cercano es de 1KΩ por lo que la ganancia obtenida al hacer $R_v = 1K\Omega$ es de 90.28. Por lo cual el amplificador de instrumentación podrá ser ajusta en ganancias entre 90.28 hasta 834.33. Cuando se configure la ganancia del amplificador al máximo representa una reducción del rango de trabajo del 40% por lo que el valor máximo a pesar será de 30Kg. Calculo basado en regla de 3 simple.

$$\text{Capacidad de celda} = \frac{V_{out} * C_{load}}{G * Ofs} = \frac{5V}{834.33} * \frac{50Kg}{10mv} = 30Kg$$

Ecuación 6 (Fuente Propia, 2023)

Donde:

- **Vout:** Voltaje de salida del amplificador
- **Ofs:** salida a escala completa de la celda en mv
- **G:** ganancia del amplificador
- **Cload:** Capacidad de la celda en Kilogramos

En la ilustración 27 se muestra el esquema de la configuración del INA para este proyecto

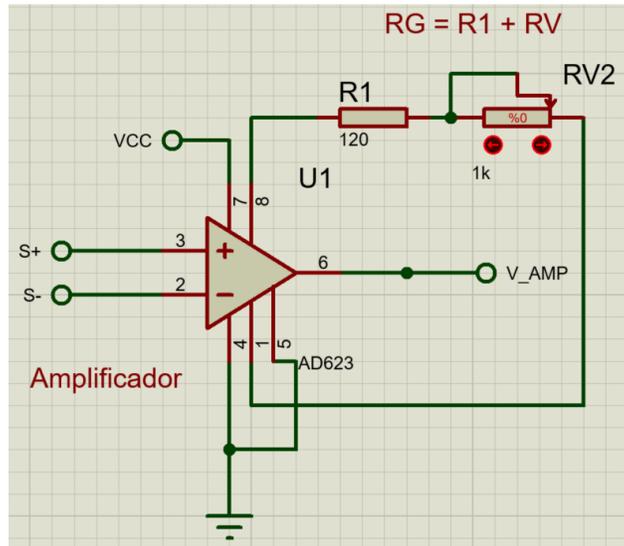


Ilustración 27. Amplificador de ganancia variable diseñado (Fuente Propia, 2023)

6.3.3. Ajuste de punto cero:

Idealmente el sistema formado por la celda de carga y la estructura con la tara, sin presencia de carga debería presentar una salida de cero. Sin embargo, la estructura y la tara que se posa sobre la celda de carga ejercen una fuerza sobre la misma provocando que esta se deforme y generando un voltaje de salida. Esto provoca fallo en la precisión del sistema debido a que el controlador lo tomaría con una carga.

Por lo que se debe calibrar este sistema para que se elimine esa salida y garantizando que solo se tendrá voltaje de salida en presencia de carga, para lograr esto se necesita hacer uso de un amplificador restador el cual toma una señal de referencia que se ajustara a través de una resistencia variable.

Debido a que un amplificador restador requiere que las señales a restar entreguen una pequeña corriente lo cual puede llegar a afectar su comportamiento y esta situación es especialmente crítica en la señal de referencia pues es necesario que esta se mantenga lo más estable posible. Para que el restador no afecte negativamente el comportamiento de la señal de referencia se implementa un seguidor de voltaje de modo que la corriente necesaria sea entregada por otro amplificador operacional.

Los parámetros para tomar en cuenta para la selección del amplificador operacional más adecuado son el tipo de alimentación pues se desea evitar tener que utilizar fuentes negativas, que presente una salida rail to rail de manera que no se tengan que utilizar voltajes más altos para su alimentación, el consumo de corriente y el precio pues se busca que el costo del sistema sea relativamente bajo.

Modelo	Fuente simple	Salida rail to rail	Consumo de corriente en uA	Precio (USD)
Opa4228	Si	Si	3700	\$ 11.22
Max4169	Si	Si	1200	\$ 6.08
MCP6024	Si	Si	1000	\$ 2.88
LM324	No	No	300	\$ 0.45

Tabla 7. Evaluación de distintos amplificadores operacionales.

En base a los datos presentados en la tabla anterior, se ha optado por la utilización **MCP6024** para la implementación del circuito restador y el seguidor de voltaje. La siguiente ilustración muestra la implementación del circuito restador con el circuito seguidor de voltaje.

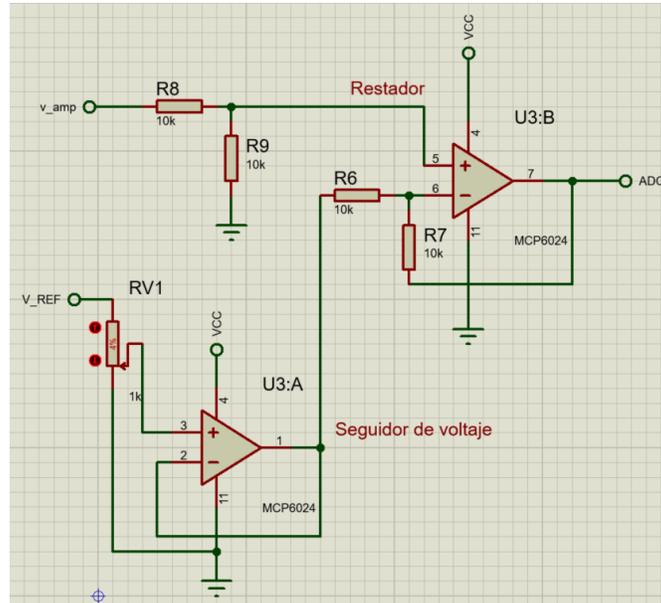


Ilustración 28 Circuito restador y seguidor de voltaje (Fuente Propia, 2023)

6.3.4. Digitalización:

Para digitalizar la señal analógica proveniente de la celda de carga, es necesario utilizar un conversor analógico digital (ADC), que tomará periódicamente medidas de la salida de voltaje y las convertirá en un número de bits que representan el valor de voltaje analógico. Para seleccionar el ADC más adecuado, se deben considerar la frecuencia de muestreo, la precisión requerida, arquitectura y protocolo de comunicación.

Para determinar la frecuencia de muestreo, se debe conocer la velocidad del proceso, la empacadora para dosificar 25 Kilogramos de material en la bolsa valvulada, tarda aproximadamente 25 segundos. Por lo que para dispensar 1kg de material es 1 segundo. Basado en lo anterior optado que la frecuencia de muestreo sea 100Hz de esta manera se obtendrá mediciones cada 10ms.

La precisión mínima requerida por el sistema es de 50 gramos, por lo que la resolución del ADC debe poder detectar variaciones menores a este parámetro. Considerando la capacidad máxima de la celda de carga seleccionada que es 50 kilogramos, su salida a escala completa de 10mv y una ganancia del amplificador de 500, la amplitud máxima de la señal de voltaje es 5V, se calcula el equivalente a 50 gramos en términos de voltaje a partir de una regla de 3.

$$V_{res} = \frac{pre * Of_s * G}{Cload}$$

Ecuación 7 (Fuente Propia, 2023)

Donde:

- **Vres:** es el equivalente a la precisión en voltaje
- **Ofs:** salida a escala completa de la celda en mv
- **G:** ganancia del amplificador
- **Cload:** Capacidad de la celda en Kilogramos
- **Pre:** precisión solicitada en los requerimientos

$$V_{res} = \frac{50gr * 10mv * 500}{50Kg}$$

Ecuación 8

Una variación de 50 gramos en voltaje representa 5mv, por lo que el error de cuantización del ADC seleccionado debe ser menor a este.

El error de cuantización una incertidumbre inherente a la señal y es equivalente a $\pm 1/2$ LSB (bit menos significativo) un ADC nunca será más preciso a este error de cuantización inherente (Tocci, 2003). Es decir que existe un porcentaje de información que se pierde al momento de la digitalización ya que el código digital cuantizado representa un voltaje analógico que puede estar en cualquier lugar dentro de intervalo de $\pm 1/2$ LSB desde el punto medio entre códigos digitales adyacentes.

Para calcular la resolución en bit mínima para que al ADC cumpla con el requerimiento se usa la siguiente formula:

$$E_{ctz} = \frac{V_{fes}}{(2^n) * 2}$$

Ecuación 9 (Tocci, 2003)

Donde:

- **Ectz:** es el error de cuantización en mv
- **Vfes:** es rango de voltaje de entrada de escala completa
- **n:** es el número de bits del ADC

$$5mv = \frac{5V}{(2^n) * 2}$$

Ecuación 10

$$2^n = 500$$

$$\log_2(2^n) = \log_2(500)$$

$$n = 8.96$$

Por lo que la resolución mínima del ADC debe ser de 9 bits.

Los ADC están contruidos a partir de diferentes arquitecturas, basado en el propósito tales como resolución o velocidad. Para este trabajo monográficos se descarta las arquitecturas Flash y Pipeline son pues estas se encuentran orientadas a obtener altas velocidades de digitalización, por otra parte, también se descarta la arquitectura Sigma-Delta pues esta configuración está orientada para resoluciones mayores de la necesaria (hasta 24 bits) con un mayor costo. A partir de lo anterior se decide entonces que la arquitectura más adecuada es la de Aproximaciones Sucesivas pues por medio de esta se pueden cumplir los requisitos dados a un costo relativamente bajo.

Por último, se necesita que el ADC posea un protocolo de comunicación serie en lugar de paralelo, para evitar la dependencia de que el controlador deba poseer una gran cantidad de pines de entrada-salida.

Modelo	Resolución en bits	Protocolo de comunicación	Consumo de corriente en uA	Voltaje de referencia externo	Cantidad de canales	SPS (muestra por segundo)	Precio (USD)
ADS1115	16	I2C	150	No	4	800sps	\$6.66
MCP3202	12	SPI	550	Si	2	100 ksps	\$3.82
AD7683	16	SPI	800	Si	1	100 ksps	\$18.02
LTC1864	16	SPI	450	Si	1	150 Ksps	\$16.27

Tabla 8. Evaluación de distintos conversores analógico-digitales.

En base a los datos presentados en la tabla anterior, se ha optado por la utilización **MCP3202** para la implementación del ADC. La ilustración 29 muestra la implementación del ADC.

Para validar que el ADC seleccionado de cumpla con una precisión de al menos 50 gramos, se retoma la ecuación 7 para calcular el error de cuantización por el ADC utilizado

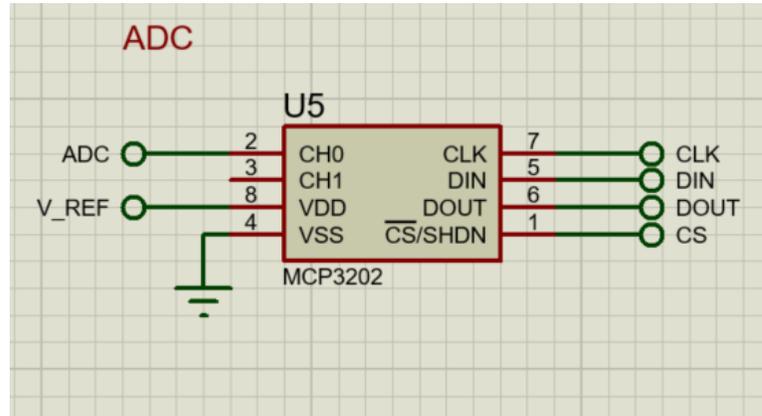


Ilustración 29. ADC configurado con comunicación SPI (Fuente Propia, 2023)

$$E_{ctz} = \frac{5V}{(2^{12}) * 2}$$

Ecuación 11

$$E_{ctz} = 0.610mv$$

Retomando la ecuación 6 y despejando la precisión del ADC en gramos

$$pre = \frac{V_{res} * C_{load}}{Ofs * G}$$

Ecuación 12

$$pre = \frac{0.610mv * 50Kg}{10mv * 500}$$

Ecuación 13

$$pre = 6.1 gr$$

Por lo que se demuestra que la precisión del ADC cumple con el requerimiento ya que se puede detectar variaciones de hasta 6.1 gramos.

6.3.5. Simulación del módulo de adquisición en proteus.

Se realizó una simulación del circuito transmisor diseñado, con la finalidad de encontrar errores, validar su correcto funcionamiento y que cumpla con los requerimientos planteados con anterioridad. La simulación se realizó usando el software Proteus Design Suite de la empresa Labcenter Electronics, con el cual se elabora el esquemático del circuito para luego ser simulado en tiempo real por

el mismo software. El esquemático completo del circuito transmisor se puede observar en la ilustración 30.

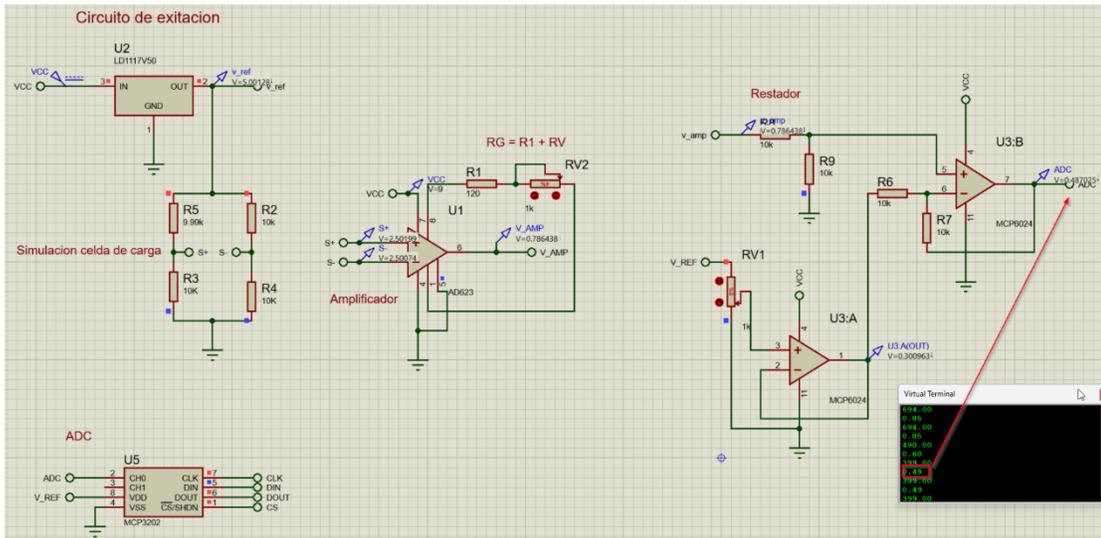


Ilustración 30. Diagrama esquemático del circuito transmisor (Fuente Propia, 2023)

Para la simulación del circuito transmisor, se reemplazó la celda de carga por un puente de Wheatstone ligeramente desbalanceado, que simulara la salida de la celda de carga con una carga con una salida diferencial de 1.25mV. La salida del amplificador es la esperada debido a cuando el potenciómetro es 0% la ganancia es 834.33 pues el voltaje de salida es 1.0429V. Mientras que la ganancia es 90.28 cuando el valor del potenciómetro es 100% cuando el voltaje de salida es 112.9mv.

El circuito restador cumple con su función de poder restar todo el rango de trabajo de 0-5V. Para validar el funcionamiento del ADC se realizó un pequeño script para Arduino que envía el comando de lectura, convierte los bits a voltaje y lo imprime en puerto serie. De esta manera se confirma que el voltaje digitalizado coincide con el voltaje analógico a la salida del circuito restador. Por lo que todos los módulos del circuito transmisor funcionan correctamente.

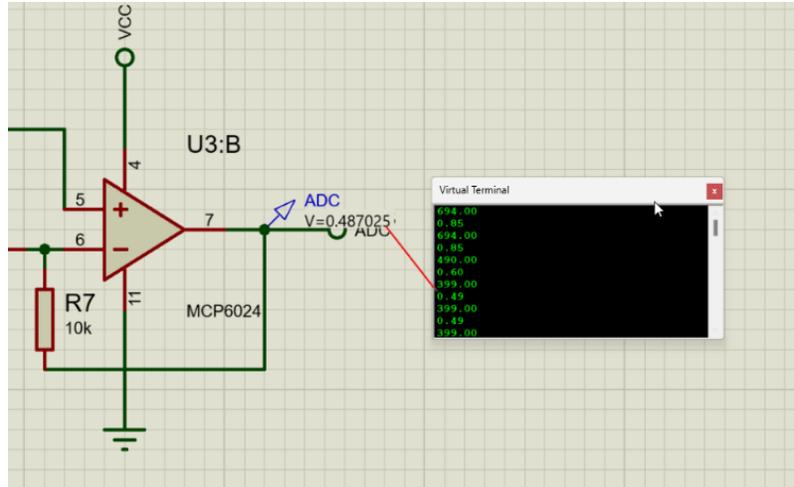


Ilustración 31. Zoom diagrama esquemático del circuito transmisor (Fuente Propia, 2023)

6.4. Sistema de control de potencia

Como se mencionó en la etapa de análisis, la empacadora contiene como actuadores un motorreductor y un motor ambos trifásicos conectados a una alimentación de 380VAC sin embargo las salidas digitales del controlador son de 5 VDC. Esto imposibilita el accionamiento de estos motores de forma directa por parte del microcontrolador por lo que se requiere un circuito que actúe de driver entre en los motores trifásico y el microcontrolador. Se debe tener en cuenta que solo es necesario activar los motores y desactivarlos, no se requiere inversión de giro, control de velocidad, y el tipo de arranque es directo.

El diagrama de bloques del circuito propuesto se presenta a continuación:

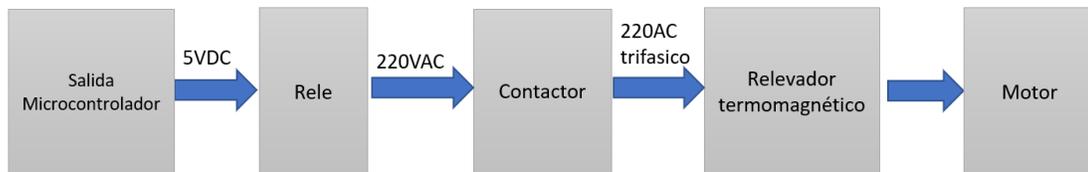


Ilustración 32. Diagrama de bloque circuito de potencia. (Fuente Propia, 2023)

El circuito de potencia está conformado por tres elementos principales un contactor, un relé de estado sólido y un relé térmico bimetálico. Además, se agrega un interruptor termomagnético que actúa como medida de protección e interruptor del circuito trifásico

Se debe tener en cuenta que el circuito a nivel eléctrico se divide en dos circuitos:

6.4.1. Circuito de control

Conformado por el relé el cual su bobina es alimentada por la salida del microcontrolador, mientras que los contactos son alimentados con una fase de 120VAC derivada del circuito trifásico. Este circuito es el que se encargara de energizar la bobina del contactor que es el encargado de activar los motores. El esquemático del circuito se muestra a continuación y en el anexo E.

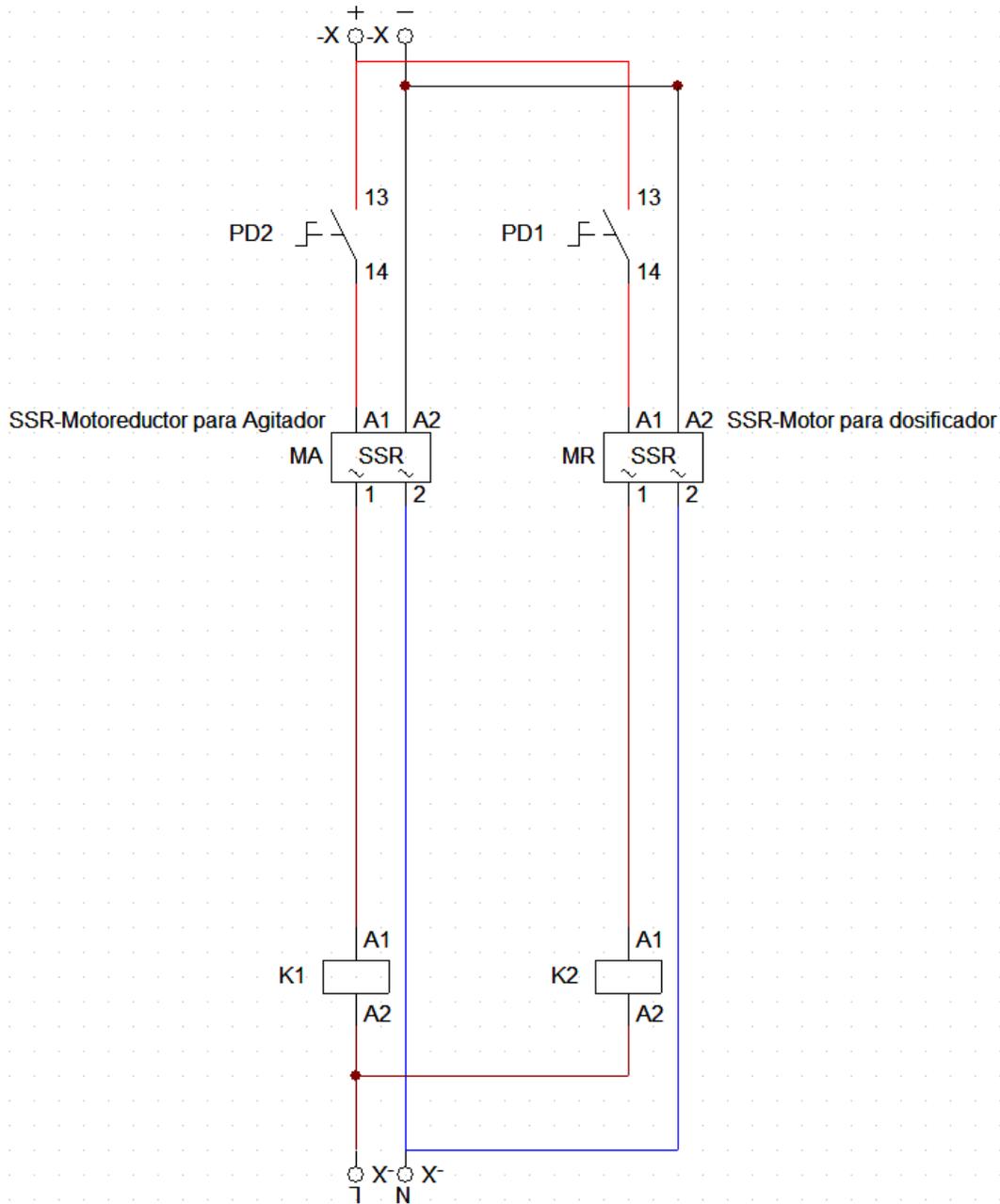


Ilustración 33. Esquema de circuito de control (Fuente Propia, 2023)

6.4.2. Circuito de fuerza

El circuito de fuerza es el encargado de suministrar la energía eléctrica a los actuadores, este se encuentra conectado directamente a las líneas de alimentación del sistema trifásico a 380VAC. En este se encuentran, el contactor, relevador térmico e interruptor termomagnético, el esquemático del circuito de fuerza se muestra a continuación y en el anexo E:

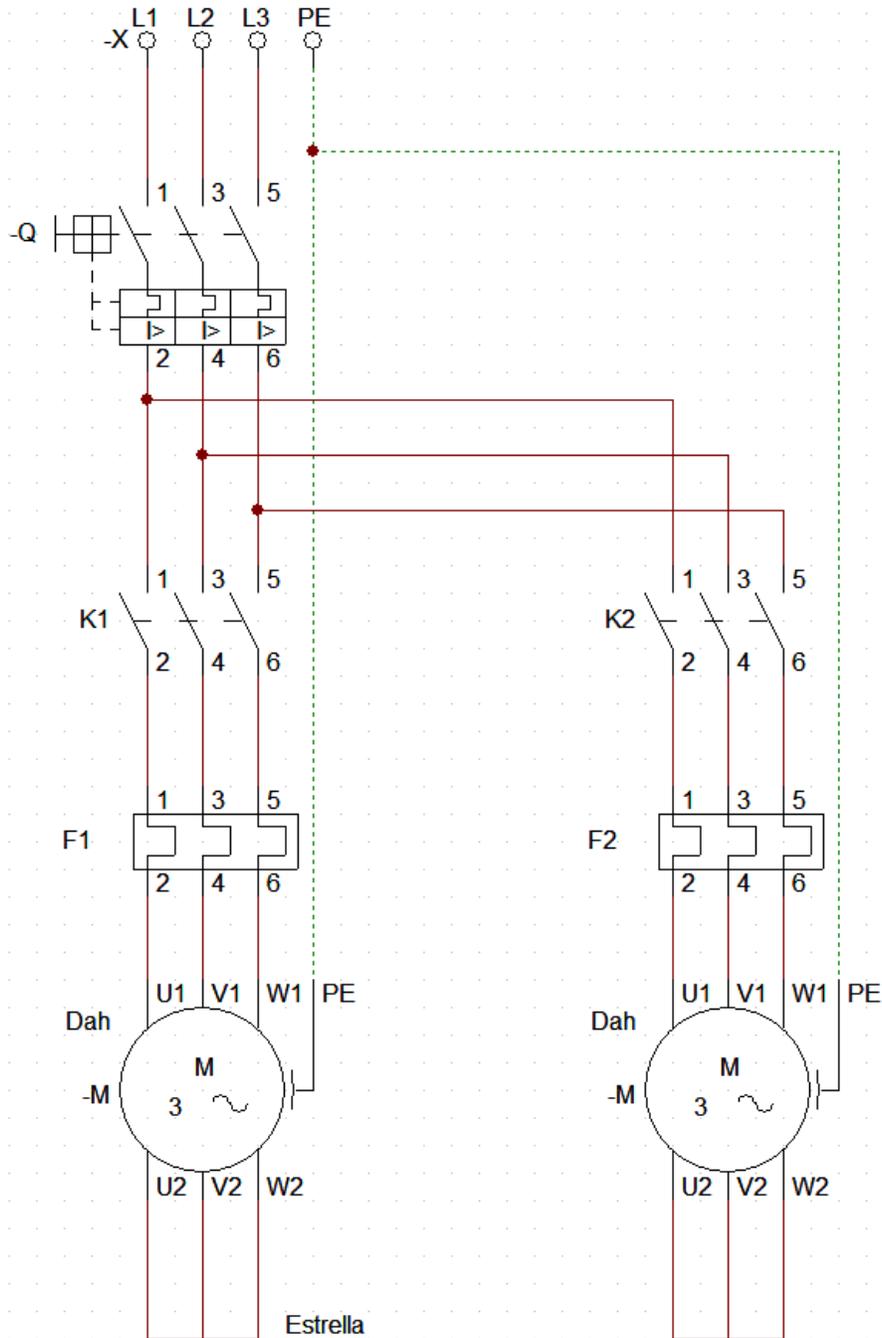


Ilustración 34. Esquema de circuito de fuerza (Fuente Propia, 2023)

6.4.3. Cálculo de corriente de arranque

Antes de poder seleccionar los componentes para el circuito de potencia se debe conocer cuál es la capacidad de corriente requerida a soportar basado en la corriente nominal y la corriente de arranque de los motores trifásicos a accionar.

La corriente nominal se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$I = \frac{1.25 * P}{\sqrt{3} * V * \phi}$$

Ecuación 14 (Harper G. , 1987)

Donde:

- I: Corriente nominal en Amperios
- P: es la potencia del motor en Watts
- V: Voltaje de fase en Voltios
- Φ : factor de potencia

Sin embargo, de la sección de análisis se puede encontrar en la ficha de técnica de los motores la corriente nominal de los mismos siendo para el motorreductor del agitador 2.55 A y para el motor del dosificador 4.74 A.

Una vez conocida la corriente nominal se procede a calcular la corriente de arranque. Tomando en cuenta que tipo de arranque seleccionado es arranque directo la corriente de arranque oscilara entre el 6 a 8 veces la corriente nominal. Tomando el factor mayor de 8 la corriente de arranque se estima en:

- **Motorreductor del agitador:** 2.55A * 8 = 20.4A
- **Motor de dosificador** 4.74A * 8 = 37.92A

6.4.4. Cálculo de calibre de cable conductor para el circuito de potencia

Para seleccionar el calibre del conductor para el circuito de potencia, se debe calcular la Ampacidad de estos, para luego utilizar la referencia AWG (American Wire Gauge) para determinar el calibre más adecuado del conductor.

En el circuito de potencia se pueden identificar dos tipos de conductores:

6.4.4.1. Cálculo de Alimentador

Este conductor es el encargado de energizar todo el circuito para ambos motores. El calibre del alimentador para dos o más motores se calcula para la siguiente corriente:

$$I = 1.25 \times \text{IPC (motor mayor)} + \text{IPC (otros motores)}$$

Ecuación 15 (Harper G. , 1987)

$$I = 1.25 \times 4.74\text{A} + 2.55\text{A}$$

$$I = 8.475 \text{ A}$$

6.4.4.2. Cálculo de conductor para circuito derivado

Este circuito es el encargado de energizar cada motor independiente,

se tomará como referencia la corriente del motor mayor que es el dosificador $I = 4.74\text{A}$. A estos conductores para su cálculo se les considera una sobrecarga del 25%, por lo que la corriente para este conductor es:

$$I = 1.25 \times 4.74 \text{ A}$$

Ecuación 16 (Harper G. , 1987)

$$I = 5.925 \text{ A}$$

Basado en la referencia AWG tanto para el Alimentador como para el circuito derivado el calibre del conductor puede ser #18 AWG. Sin embargo, el Código de Instalaciones eléctricas de Nicaragua CIEN se especifica que el calibre mínimo permitido para conductores activos que alimenten circuitos derivados es el # 12 AWG. Por lo que el calibre para ambos conductores será #12 AWG.

6.4.5. Selección del contactor

La elección de un contactor adecuado para una aplicación específica depende de varios factores y parámetros técnicos. Los parámetros que se deben considerar para la selección del contactor son los siguientes:

- Corriente nominal: se tomará como referencia la corriente nominal del motor del dosificador por ser el que posee una mayor de manda de corriente 4.74 A.
- Voltaje nominal: Se debe elegir un contactor que tenga un voltaje mayor a los 380VAC del circuito trifásico que alimenta a los motores.
- Categoría de empleo: Dado que la carga a conectar en los contactores es del tipo inductiva, la clase del contactor a seleccionar debe ser del tipo AC-3.
- Cantidad de polos: El contactor a seleccionar debe contar con tres polos, pues el circuito de alimentación es trifásico.

- Voltaje del circuito magnético: El voltaje que necesita la bobina del contactor para activarlo debe ser de 220VAC, dado que este voltaje se toma de una derivación del circuito trifásico de 380VAC.

Modelo	Corriente nominal máxima	Voltaje de operación máximo	Categoría de empleo	Polos	Voltaje de bobina	Precio (USD)
Schneider LC1D12M7	12 A	440V	AC-3	3	220VAC	\$ 68.00
Siemens 3RT2026-1AN20	12 A	690V	AC-3	3	220VAC	\$115.00

Tabla 9. Evaluación de contactores

En base a los datos presentados en la tabla anterior, se ha optado por la utilización del contactor Schneider LC1D12M7 que actuara de interruptor entre el sistema de alimentación trifásico y los motores.



Ilustración 35. Contactor Schneider LC1D12M7 (Schneider Electric, 2023)

6.4.6. Relé de estado sólido

El voltaje necesario para excitar la bobina del contactor es de 220VAC. Por lo que es necesario utilizar un relé que pueda ser activado por el voltaje de salida del microcontrolador. Dado que la activación y desactivación del dosificador será de forma recurrente, un relé mecánico presentaría una vida útil muy corta por esta

razón se ha seleccionado un relé de estado sólido. Un relé de estado sólido en su interior está conformado por circuitos optoelectrónicos y un dispositivo semiconductor (Triac) por ende el desgaste es mucho menor que los relés mecánicos además de poseer una velocidad de conmutación superior.

Los parámetros que se deben considerar son los siguientes:

- Voltaje del circuito de disparo: El voltaje que necesita el relé para activarse debe ser menor a 5VDC, pues el microcontrolador debe ser capaz de accionarlo.
- Voltaje nominal: Debe ser capaz de soportar los 220VAC que son utilizado por la bobina del contactor.
- Corriente nominal: Debido a que el elemento a accionar es un elemento de control como lo es la bobina del contactor del motor, se debe evitar el sobredimensionamiento de este.

Modelo	Voltaje de operación máximo	Corriente nominal máxima	Voltaje de bobina	Precio (USD)
SSR-10DA	24 - 380 VAC	12 A	3 -32 VDC	\$ 32.98
SSRT-240D10	24 - 280 VAC	12 A	3 -32 VDC	\$42.98
SSRK-240D10	24 - 280 VAC	12 A	3 -32 VDC	\$80.22

Tabla 10. Evaluación de SSR

En base a los datos presentados en la tabla anterior, se ha optado por la utilización del Relé SSR-10DA que será el encargado de activar la bobina del contactor basado en la salida del microcontrolador.



Ilustración 36. Relé SSR-10DA (LH Electro Componentes S.A., 2023)

6.4.7. Elección relevador térmico

Cuando se elige un relevador térmico, es esencial tener en cuenta diferentes criterios importantes para asegurar que el motor eléctrico o el equipo a proteger estén adecuadamente protegidos. Hay algunos criterios fundamentales que se debe considerar cuidadosamente para garantizar la protección adecuada de los motores eléctricos.

6.4.7.1. Protección contra sobrecarga

Esta protección es contra una sobrecarga para evitar que el motor se sobrecaliente, para lo cual se calcula para un valor máximo permisible del 25%. Es decir, el elemento de protección se debe ajustar para activarse para una corriente definida en la siguiente ecuación.

$$I = 1.25 \times IPC$$

Ecuación 16 (Harper G. , 1987)

$$I_{agitador} = 1.25 \times 2.55A$$

$$I_{agitador} = 3.1875 A$$

$$I_{dosificador} = 1.25 \times 4.74A$$

$$I_{dosificador} = 5.925 A$$

6.4.7.2. Rango de corriente ajustable

se debe elegir un relevador térmico que tenga un rango de corriente ajustable que cubra la corriente nominal del motor y la corriente máxima permitida para evitar sobre cargas. Es decir, el contactor seleccionado debe poder ajustar a 3.1875 A para proteger el motor del agitador y también a 5.925 A para proteger el motor del dosificador.

6.4.7.3. Clase de disparo

durante la fase de arranque del motor el relevador térmico debe permitir que pase la sobrecarga temporal que provoca el pico de corriente, y activarse únicamente si dicho pico, es decir la duración del arranque, resulta excesivamente larga.

La clase de disparo es un parámetro que indica el tiempo en que el relevador térmico se activará y desconectará el circuito en caso de una sobrecarga. Esta clasificación se basa en el tiempo que tarda el relevador en dispararse cuando la corriente es igual un múltiplo de la corriente de ajuste (valor de corriente que se ha configurado). Las clases de disparo más comunes son: 10A, 10, 20, 30

La normal IEC 60947-4-1 es la que define las curvas de tiempo de desconexión y múltiplo de corriente de corriente de ajuste por ejemplo la duración del disparo en 7,2 veces la corriente de ajuste I_r :

- clase 10 comprendida entre 4 y 10 segundos,
- clase 10 A comprendida entre 2 y 10 segundos,
- clase 20 comprendida entre 6 y 20 segundos.

Basado en la aplicación del dosificador y agitador el arranque es de tan solo unos segundos y se necesita de una protección rápida y eficaz se ha optado que la clase del relevador térmico a seleccionar debe ser clase 10A.

Modelo	Voltaje de operación máximo	Rango de corriente ajustable	Clase de disparo	Precio (USD)
LRD12	690 V	5.5-8A	Clase 10 A	\$62.00
LRD08	690 V	2.5-4A	Clase 10 A	\$60.00
3RU2116-1EB0	690 V	2.8-4A	Clase 10 A	\$65.58
3RU2116-1GB0	690 V	4.5-6.3A	Clase 10 A	\$67.13
DPER08	690 V	2.5-4A	Clase 10	\$23.00
DPER12	690 V	5.5-8A	Clase 10	\$23.00

Tabla 11. Evaluación de Relevador térmico

En base a los datos presentados en la tabla anterior, se ha optado por la utilización del relevador térmico LRD08 para la protección contra sobrecarga del motor del agitador y el LRD12 para la protección del motor del dosificador.



Ilustración 37. Relevador térmico LRD12 (Schneider Electric, 2023)

6.4.8. Selección Relevador termomagnético

La protección del alimentador ya sea que se haga por medio de fusibles, interruptores automáticos (termomagnéticos o electromagnéticos) o cualquier otro tipo de interruptores se debe calcular para una corriente de activación contra corto circuito que tome en consideración la corriente máxima del motor mayor más la suma de las corrientes a plena carga de los otros motores conectados al mismo circuito.

$$I = I_{\text{arranque máx}}(\text{motor mayor}) + IPC (\text{otros motores})$$

Ecuación 17 (Harper G. , 1987)

$$I = 37.92 \text{ A} + 2.55 \text{ A}$$

$$I = 40.47 \text{ A}$$

Una vez calculada la corriente a la que debería activarse la protección contra corto circuito, se establece cual es la curva de disparo apropiada para de esta forma obtener la corriente nominal del interruptor.

Las curvas de disparos se establecen a partir de la protección térmica para sobre corriente y magnético para cortocircuito.

Curva B

- Es utilizada en protección de generadores, de personas y grandes longitudes de cable
- Sobrecarga: térmico estándar.
- Cortocircuito: umbrales magnéticos fijados entre 3 y 5 de la corriente nominal del interruptor termomagnético.
- Se utilizan para protección de generadores y grandes longitudes de cable.

Curva C

- Es utilizada en protección de cables alimentando receptores clásicos.
- Sobrecarga: térmico estándar.
- Cortocircuito: umbrales magnéticos fijados entre 7 y 10 de la corriente nominal del interruptor termomagnético.
- Estos son los más utilizados. Son los utilizados en las instalaciones domésticas, alumbrado, tomas de corriente y usos generales.

Curva D:

- Es utilizada protección de cables alimentando receptores con fuertes puntas de arranque.
- Sobrecarga: térmico estándar.
- Cortocircuito: umbrales magnéticos fijados entre 10 y 14 de la corriente nominal del interruptor termomagnético.

Basado en las curvas se optó por la utilización de una curva tipo C. La corriente nominal del interruptor termomagnético se estimó utilizando la corriente máxima permitida calculada previamente que es 40.47 A dividida entre el valor mínimo de la curva que es 7. Esto da como resultado una corriente nominal de 5.78 A.

Por lo que la capacidad del interruptor termomagnético debería ser 6A. sin embargo, la corriente nominal del interruptor no debe ser menor a la corriente nominal de todo el circuito por lo que se seleccionó una capacidad de 10 A.

Modelo	Voltaje de operación máximo	Corriente nominal	Curva de disparo	Precio (USD)
ABB SU203M-K10	480 V	10 A	K	\$ 118.54
Siemens 5SY6310-7	440 V	10 A	C	\$114.78
Schneider M9F21310	440 V	10 A	B	\$300.00

Tabla 12. Evaluación de interruptor termomagnético

En base a los datos presentados en la tabla anterior, se ha optado por la utilización del interruptor termomagnético Siemens 5SY6310-7, para la protección contra cortocircuito en el circuito de fuerza.



Ilustración 38. Interruptor termomagnético Siemens 5SY6310-7 (Casa Blanco, 2023)

6.4.9. Simulación de circuito de potencia

Se realizó una simulación los circuitos diseñados, con la finalidad de encontrar errores, validar su correcto funcionamiento y que cumpla con los requerimientos planteados con anterioridad. La simulación se realizó usando el software CADe-Simu, con el cual se elabora el esquemático del circuito para luego ser simulado en tiempo real por el mismo software. El esquemático completo se puede observar en la ilustración 39

circuito de control

circuito de fuerza

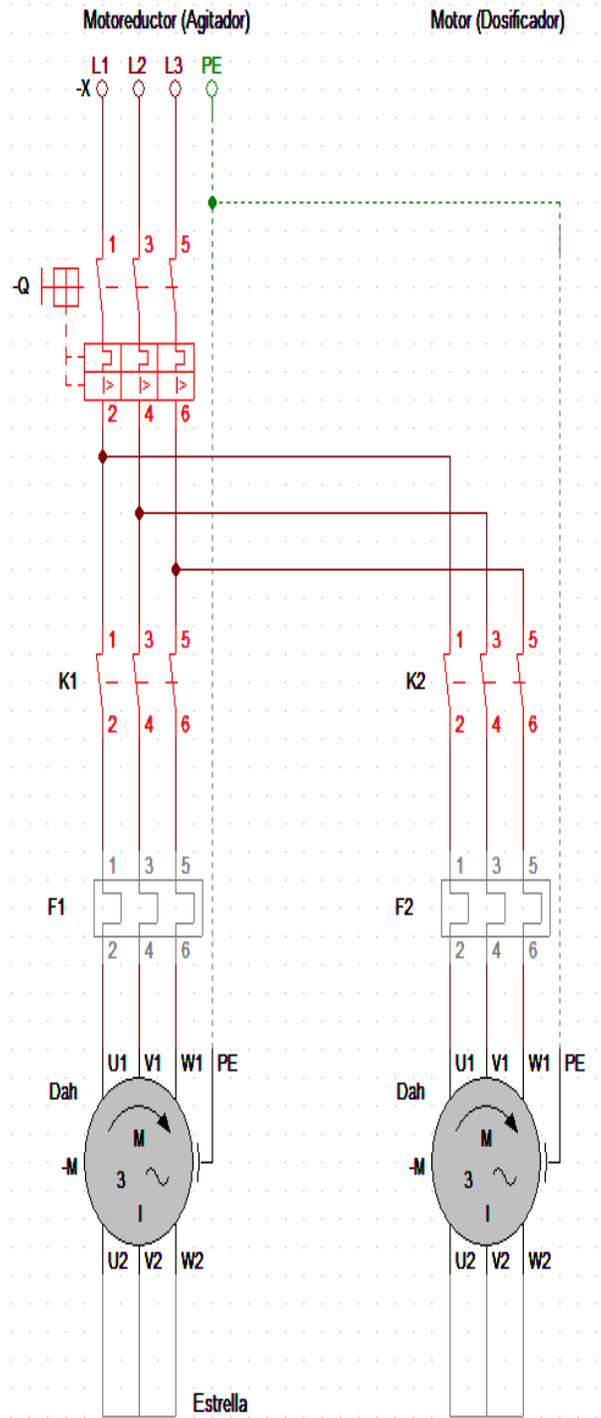
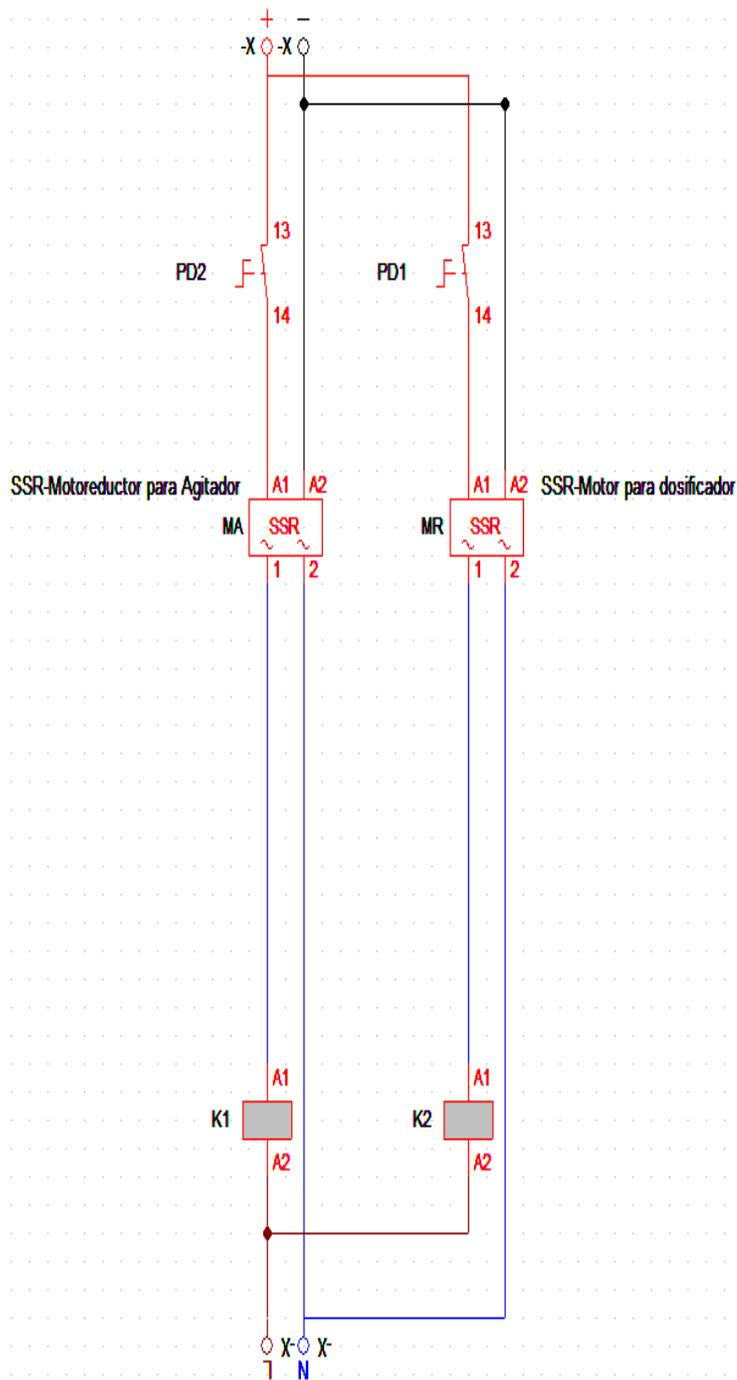


Ilustración 39. Simulación del circuito de potencia. (Fuente Propia, 2023)

Las salidas del microcontrolador se simulan a través de dos switches que están etiquetados con PD1 y PD2. Cuando el microcontrolador activa la salida PD1, la bobina del relé MR se energiza, cerrando sus contactos para luego energizar la bobina del contactor K1 que al accionarse activara el dosificador. Similar flujo ocurre con PD2 para activar el agitador

6.5. HMI

El usuario a través del HMI puede establecer las configuraciones necesarias para el proceso como el peso específico que deben contener el material empacado. Así como también establecer el modo de operación y detener el proceso en caso de emergencia. También el HMI notificara al usuario el estado actual del proceso, el peso del material contenido en el empaque, cantidad de sacos llenados durante el proceso y notificar errores.

Se ha decidido implementar un HMI (Human Machine Interfaz) conformada por los siguientes elementos:

- 3 pulsadores normalmente abiertos
- 1 pulsador normalmente cerrado
- 3 luces pilotos 12VDC (verde, amarillo, rojo)
- 1 Display LCD 16x4

Los elementos del HMI se ubicarán en la parte frontal del panel de control y se conectarán al microcontrolador, quedando el diagrama de bloques de la siguiente manera:

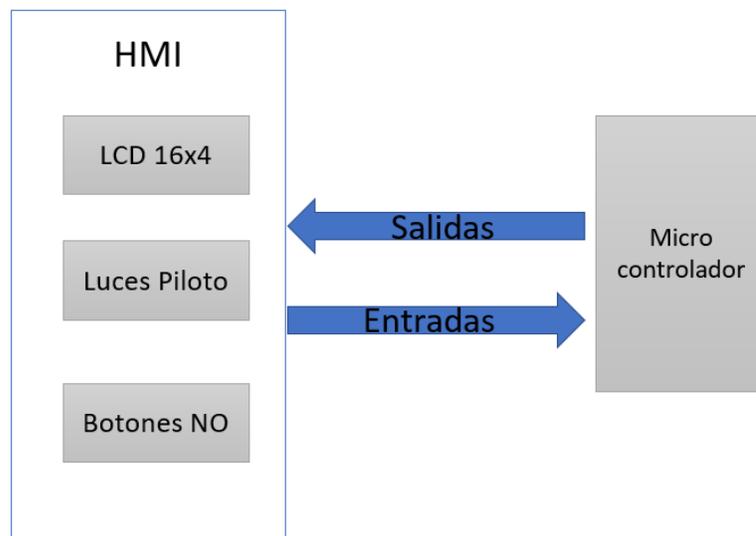


Ilustración 40. Diagrama de bloques para HMI (Fuente Propia, 2023)

6.5.1. Entradas

El sistema no requiere que el usuario realice interacciones complejas, más que solo algunas operaciones de configuración, por ende, no es necesario una gran cantidad de entradas, en el sistema se ha implementado únicamente 4 botones con una configuración pull-up como entradas. El diagrama de la configuración de estos se muestra en la siguiente ilustración.

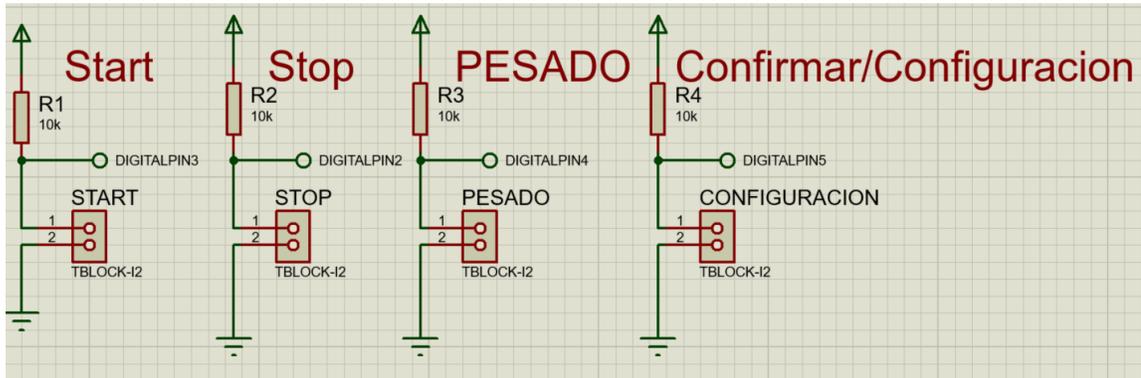


Ilustración 41. Diagrama de la configuración de los botones (Fuente Propia, 2023)

Los botones tendrán asignada una función principal, relacionada a cambiar el estado del sistema y una función secundaria relacionada al menú de configuración. Además, se le asignara un color basado en su función a como es descrito en la norma IEC 60204-1. Todo lo mencionado es resumido en la siguiente tabla.

Numero de botón	Nombre de botón	Descripción de función principal	Función secundaria	Estado	Color
1	Start	Iniciar proceso de llenado de un lote	Navegación en menú de configuraciones	N. O	Verde
2	Stop	Detener todos los procesos y regresar a estado inicial	Sin función secundaria	N.C	Rojo
3	Pesado	Iniciar dosificado para llenado de bolsa	Navegación en menú de configuraciones	N. O	Amarillo
4	Configuración	Desplegar menú de configuraciones	Confirmar configuraciones realizadas	N. O	Verde

Tabla 13. Funciones asignadas a los botones de entrada

Para la implementación se ha decidido utilizar pulsadores de 22mm de la marca Taiss, los cuales pueden llegar a soportar hasta 440VAC y una corriente máxima de 10 A, y puede configurarse como con normalidad abiertos o normalmente cerrados basado en sus terminales.



Ilustración 42. Pulsadores de 22mm marca Taiss (Mercado Libre, 2023)

6.5.2. Salidas

Se requiere que el sistema notifique al usuario acerca del estado del sistema y del proceso además que sea fácil de observar a una distancia mayor, pero también contar con una forma de brindar información detallada, y mostrar el menú de configuración. Por lo que el HMI combinara el uso de luces pilotos como de una pantalla LCD.

6.5.2.1. Luces Pilotos

Aunque se contara con una pantalla LCD, Se ha optado por la utilización de luces pilotos para indicar a los operarios los siguientes estados:

- Sistema Encendido
- Error en sistema
- Llenado en proceso

Aunque una pantalla LCD puede brindar información muy detallada, la razón por usar luces pilotos para los escenarios mencionados anteriormente se listan a continuación:

- **Visibilidad:** Las luces piloto son fáciles de ver desde una distancia mayor y en condiciones de iluminación adversas, como en áreas muy iluminadas u oscuras. Esto facilita la supervisión rápida de las condiciones y el estado de los equipos.
- **Simplicidad:** Las luces piloto son dispositivos simples que no requieren de una interfaz complicada. Un operador puede entender fácilmente el estado

de una máquina o proceso con solo mirar el color y el patrón de las luces, lo que agiliza la toma de decisiones.

- **Compatibilidad:** Las luces piloto pueden integrarse fácilmente en sistemas de control y señalización existentes sin requerir cambios significativos en el hardware o software, lo que las convierte en una solución práctica y económica para actualizar o modificar sistemas industriales.

En la siguiente tabla se muestra la descripción de las funciones asignadas a cada luz piloto con su respectivo color.

Numero de lampara piloto	Nombre de lampara piloto	Descripción de función principal	Color
1	Encendido	Indica el proceso esta encendido y listo para operar	Verde
2	Error	Indica al operario que ha ocurrido un error en el sistema y está detenido	Rojo
3	Llenado	Indica al operario que el dosificador esta activado, es decir ella llenando una bolsa	Amarillo

Tabla 14. Funciones asignadas a las lámparas pilotos

Para la implementación se ha decidido utilizar luces pilotos de 22mm del fabricante Gasher, las cuales requiere un voltaje de alimentación de 12 VDC y un consumo de 20mA y presentan una duración estimada de 20,000 horas de funcionamiento.



Ilustración 43. Lámpara piloto Gasher (Amazon, 2023)

Debido a que las luces pilotos deben tener una alta luminosidad, requiere un consumo de voltaje y corriente mayor a lo que el microcontrolador puede proporcionar directamente, por lo que se necesita un circuito adicional basado en transistores que brinden el suministro de voltaje y corriente adecuado para la activación piloto. El esquemático se muestra en la ilustración 44.

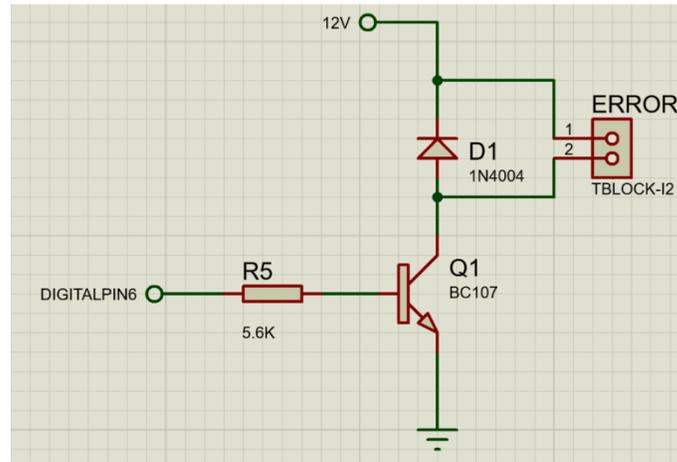


Ilustración 44. Circuito de activación de luces pilotos (Fuente Propia, 2023)

6.5.2.2. Pantalla LCD 16x2

Se utilizará una pantalla LCD de 16x4 monocromática para atender situaciones donde se requiere que el operario obtenga información más detallada acerca del proceso o se necesite interactuar con el sistema de manera más compleja tales como las siguientes situaciones:

- Realizar configuración del sistema, tal como seleccionar el peso de la bolsa a llenar y la cantidad de unidades el lote



Ilustración 45. Pantalla LCD 16x4 con modulo I2C (Aliexpress, 2023)

- Realizar el proceso de calibración del sistema de pesaje.
- Brindar información detallada acerca del proceso, como mostrar el peso de la bolsa y el número de bolsa del lote

Sin embargo, una pantalla LCD requiere la utilización de muchos pines, si se utiliza la comunicación paralela, por lo que adicionalmente se agrega un módulo de conversión para comunicarse a través del protocolo I2C, reduciendo la cantidad de pines a únicamente 2.

6.5.3. Diseño de panel

Todos los elementos para el HMI serán integrados en un panel central cuya estructura ha sido modelado utilizando el software de diseño Fusion 360, el cual es un software de modelado 3D que destaca en que puede ser utilizado por principiantes dado su interfaz fácil e intuitiva. La vista frontal del modelo 3D se muestra en la siguiente ilustración y la vista isométrica en la ilustración 47.

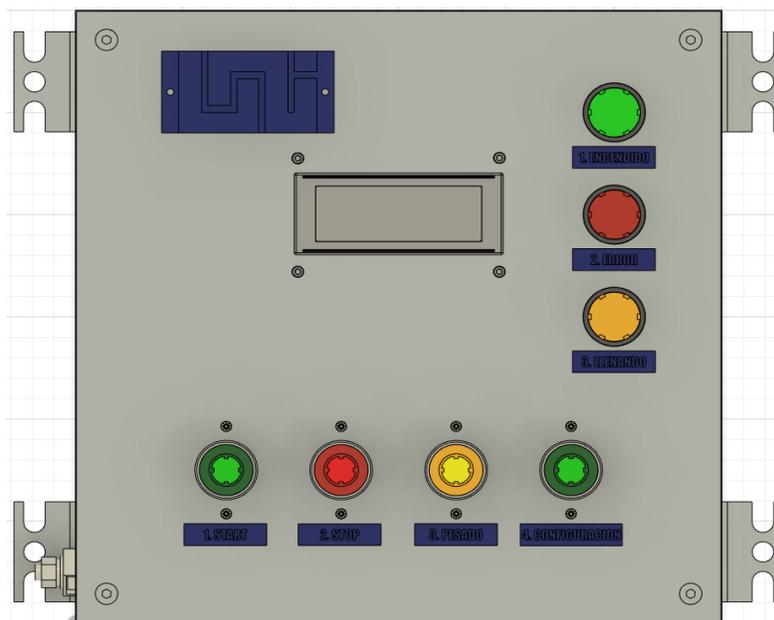


Ilustración 46. Vista frontal del Modelo 3D de panel con interfaz humano-maquina (Fuente Propia, 2023)

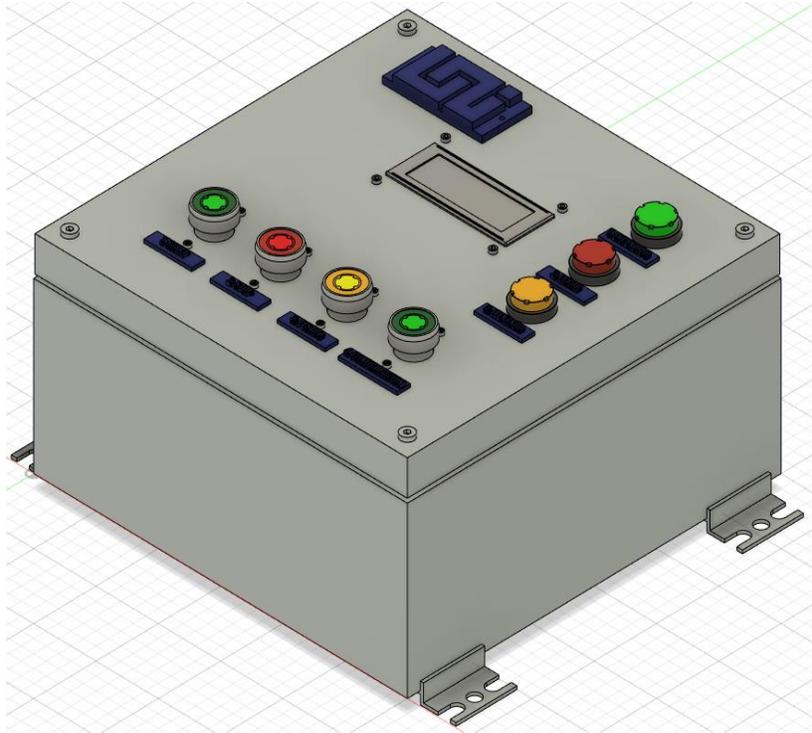


Ilustración 47. Vista isométrica del Modelo 3D de panel con interfaz humano-maquina (Fuente Propia, 2023)

6.6. Microcontrolador

El microcontrolador es el componente más importante del sistema, pues es el que realiza la adquisición de señal proveniente del circuito transmisor y digitalizándola para obtener el peso del contenido en la bosa valvulada, a una frecuencia de muestreo determinada y se encarga del accionamiento y desactivación de los actuadores. Además, almacena y utiliza las configuraciones proporcionadas por el usuario a través de la HMI.

6.6.1. Requerimientos del microcontrolador

Existen un gran número de microcontroladores, con diferentes especificaciones en dependencia de la aplicación, es por esto se hace necesario definir primero los requerimientos, para luego escoger el microcontrolador más adecuado es decir que no presente limitaciones técnicas pero que tampoco sea sobredimensionado.

Primero se debe determinar la cantidad de pines de Entrada/Salida que son requeridos por cada uno de los componentes conectados al microcontrolador, para conocer la cantidad de puertos E/S con los que debe contar. Lo siguiente es conocer que módulos específicos necesita que el microcontrolador posea para integrarse con los demás dispositivos del sistema, por ejemplo, contar con Timers, Comparadores, ADC, puerto de comunicación. Por último, se debe tomar en

consideración la escalabilidad de este basado en futuras mejoras o cambios al sistema.

Cabe destacar que se ha tenido en cuenta la futura incorporación de un módulo de memoria microSD, para la realización de almacenamiento local y la incorporación de comunicación inalámbrica a través de protocolo RS-232 por lo que también se tendrán en cuenta estos requisitos para la selección del microcontrolador.

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de pines E/S para cada uno de los componentes y los módulos requeridos:

Componente	Pines de E/S utilizados	Modulo
ADC	4	SPI
SSR	2	---
LCD	2	I2C
Pulsadores	5	---
LED	3	---
Comunicación	2	USART
MicroSD	4	SPI

Tabla 15. Pines de Entrada/Salida utilizados

La tabla muestra que se requieren un total de 22 pines de E/S, para la conexión de todos los dispositivos al microcontrolador, sin embargo, dato que el módulo de MicroSD y el ADC ambos utilizan protocolo SPI ambos reutilizan 3 pines (SDO, SDI, SDK) por lo que en realidad se requiere un total de 19 pin de E/S, en base a lo planteado en esta tabla y los requisitos del sistema presentados en la etapa de análisis se determina que el microcontrolador debe poseer las siguientes características:

- 3 puertos E/S
- 1 módulos USART
- 1 módulo de comunicación SPI
- 1 módulo de comunicación I2C
- 1 pin interrupción externa
- 1 Timer para interrupción por desbordamiento de timer

6.6.2. Selección del microcontrolador

Una vez obtenidos los requerimientos técnicos que debe poseer el microcontrolador, se evaluaron 4 microcontroladores de distintos fabricantes,

Atmel, microchip y ARM, en la siguiente tabla se muestra la evaluación de los requerimientos para cada uno de los microcontroladores seleccionados.

Modelo	Puertos E/S	SPI	I2C	USART	Interrupción externa	Timers	Precio
Atmega 328P	3	1	1	1	2	3	\$3.06
PIC18F2550	3	1	1(igual SPI)	1	3	4	\$7.75
PIC18F26K80	3	1	1(igual SPI)	2	4	5	\$4.37
RP2040(Raspberry pico)	4	2	2	2	0	1	\$5.00

Tabla 16. Evaluación de distintos microcontroladores

Basado en la tabla anterior se ha seleccionado el Atmega 328P del fabricante Atmel, ya que cumple con el número de E/S necesarias pues es un integrado de 28 pines con 3 puertos bidireccionales, posee suficiente memoria (32 Kbytes) para la implementación del software y futuras actualizaciones, cuenta con módulos para SPI e I2C para el control de diferentes dispositivos además de contar con 1 módulos USART para una futura implementación de comunicación utilizando RS232 y su bajo costo (alrededor de 3\$), además que se puede instalar el firmware de Arduino, para hacerlo mucho más fácil de programar. En la tabla 7 se detalla la asignación de pines realizadas al microcontrolador.

Numero de pin	Nombre de pin	Pin Arduino	Descripción
1	PC6	RESET	Botón de reinicio
2	PD0	Digital Pin 0	TX RS232
3	PD1	Digital Pin 1	TX RS232
4	PD2	Digital Pin 2	Botón de STOP
5	PD3	Digital Pin 3	Botón de START
6	PD4	Digital Pin 4	Botón de Pesado
7	VCC	VCC	VDD +5V Alimentación
8	GND	GND	GND
9	PB6	OSC1	Oscilador (Reloj)
10	PB7	OSC2	Oscilador (Reloj)
11	PD5	Digital Pin 5	Botón de Configuración
12	PD6	Digital Pin 6	LED Error
13	PD7	Digital Pin 7	LED Encendido
14	PB0	Digital Pin 8	LED Llenando
15	PB1	Digital Pin 9	CS-MicroSD
16	PB2	Digital Pin 10	CS-ADC

17	PB3	Digital Pin 11	SDI-SPI
18	PB4	Digital Pin 12	SDO-SPI
19	PB5	Digital Pin 13	SCK-SPI
20	AVCC	AVCC	VDD +5V Alimentación
21	VREF	VREF	N/C
22	GND	GND	GND
23	PD0	Analog input 0	N/C
24	PD1	Analog input 1	N/C
25	PD2	Analog input 2	SSR-Motor para dosificador
26	PD3	Analog input 3	SSR-Motoreductor para Agitador
27	PD4	Analog input 4	SDA I2C – Display LCD
28	PD5	Analog input 5	SCL I2C – Display LCD

Tabla 17. Asignación de pines ATMEGA-328P

6.7. Programación del microcontrolador

El programa se ha modela usando una máquina de estados finitos para realizar un código practico y fácil de entender, pero siguiendo los requerimientos solicitados, la máquina de estado realizada se muestra a continuación.

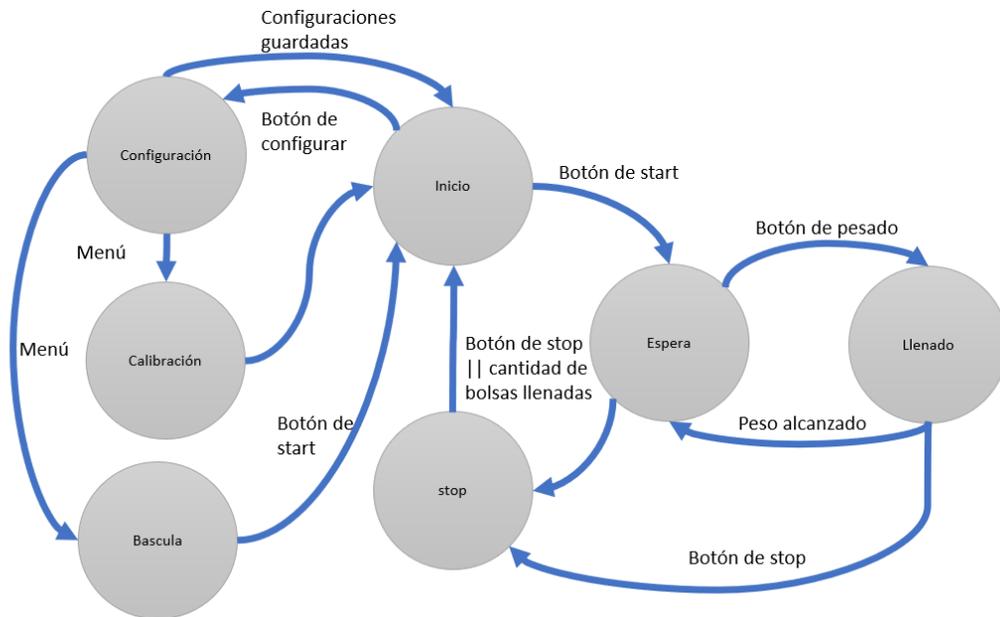


Ilustración 48. Programación del microcontrolador. (Fuente Propia, 2023)

6.7.1. Descripción de los estados:

- **Inicio:** Es el primer estado el microcontrolador, consulta las configuraciones guardadas en la memoria EEPROM, todos los parámetros son inicializados, y muestra mensaje de bienvenida hasta que se presiona el botón de inicio o de configuración.
- **Configuración:** En este estado el operario puede configurar el peso del empaque además de la cantidad del lote que espera llenar.
- **Calibración:** En este estado el operario puede realizar el proceso de calibración para arreglar desviaciones con el peso real, ajustan el punto cero sin presencia de carga, y la ganancia utilizando masa patrones y el rango de trabajo del microcontrolador. Esto permite ajustar la sensibilidad del dispositivo para diferentes rangos de trabajo. El proceso de calibración se detallará en el anexo A.
- **Bacula:** En este estado el sistema funcionara únicamente como una báscula sin activar ninguna otra salida, esta función se ha integrado para validar el funcionamiento del sistema de medición y determinar si es necesario realizar un proceso de calibración.
- **Espera:** En este estado se espera hasta que el operario introduzca la bolsa valvulada y presione el botón de llenado y regresa al estado de inicio si, ya se han llenado la cantidad de bolsas seleccionada.
- **Llenado:** En este estado se realiza la función principal que es activar el agitador y dosificador, mientras que se realiza la medición del contenido en la bolsa valvulada a una tasa de muestreo definida en 100Hz. Un vez alcanzado el peso configurado se realiza la transición hacia el estado de espera o que se oprima el botón de stop para que se realice la transición hacia el estado de Stop.
- **Stop:** En este estado se deja de realizar toda acción, se reinician cierto parámetros y variables para luego enviar al programa nuevamente al estado de Inicio. Si el botón de Stop fue presionado en el estado de Pesado, significa la incidencia de un error y por tanto, el sistema quedara detenido hasta que se solucione el problema y se presione el botón de Inicio y Confirmación.

6.7.2. Implementación de la máquina de estados finitos en código fuente

La implementación del programa modelado en la máquina de estado finito presentada en la ilustración 48, se realizará utilizando el lenguaje de programación C++, instalando en el microcontrolador el firmware de Arduino, para que el microcontrolador sea programado usando Arduino IDE y sea equivalente a un Arduino UNO. El código fuente elaborado puede ser consultado en el anexo C.

6.8. Fuente de alimentación

Se eligió emplear una fuente de alimentación conmutada económica y altamente confiable de Mulview Technology, específicamente el modelo S-60-12, que ofrece una entrada de 110Va0c y una salida de 12VDC 5A. Además, esta fuente conmutada proporciona protección contra cortocircuitos y sobrecargas.



Ilustración 49. Fuente Conmutada S-60-12 (Electronica, 2023)

Se optó por una fuente conmutada ya fabricada, en lugar de diseñar una fuente lineal por los siguientes factores:

- Facilidad y ahorro de tiempo y dinero.
- Mayor estabilidad, precisión y eficiencia
- Menor tamaño y peso
- Protección adicional contra cortocircuito y sobrecarga

6.9. Etapa de presentación de resultados

En esta sección se explica el proceso de implementación de los circuitos diseñados en el apartado anterior, y se muestra el resultado obtenido de este trabajo monográfico junto con las pruebas realizadas para la validación del correcto funcionamiento de este.

6.9.1. Diseño de circuitos impresos

Para el diseño de los circuitos impresos se usó el software Ares, perteneciente a la suite de Proteus ya que contiene una amplia librería de componentes electrónicos y herramientas que facilitan el proceso de diseño.

Se diseñó 1 PCB dedicada al acondicionamiento y digitalización de la señal de la celda de carga. Las dimensiones de cada PCB es 75.46mm x 39.56cm como se muestra en la siguiente ilustración.

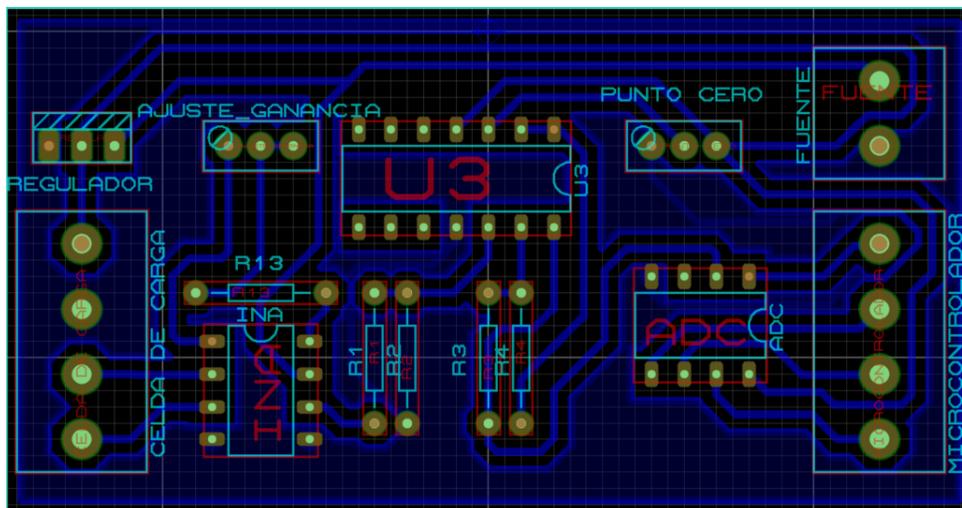


Ilustración 50. PCB diseñada para circuito transmisor (Fuente Propia, 2023)

La siguiente PCB es la que contiene el microcontrolador y es donde deberán conectarse los demás componentes del sistema como por ejemplo LCD, luces pilotos, Relés de estado sólido, circuito transmisor entre otros, las dimensiones de la tarjeta son 74.58 mm x 100 mm y su diseño se muestra a continuación:

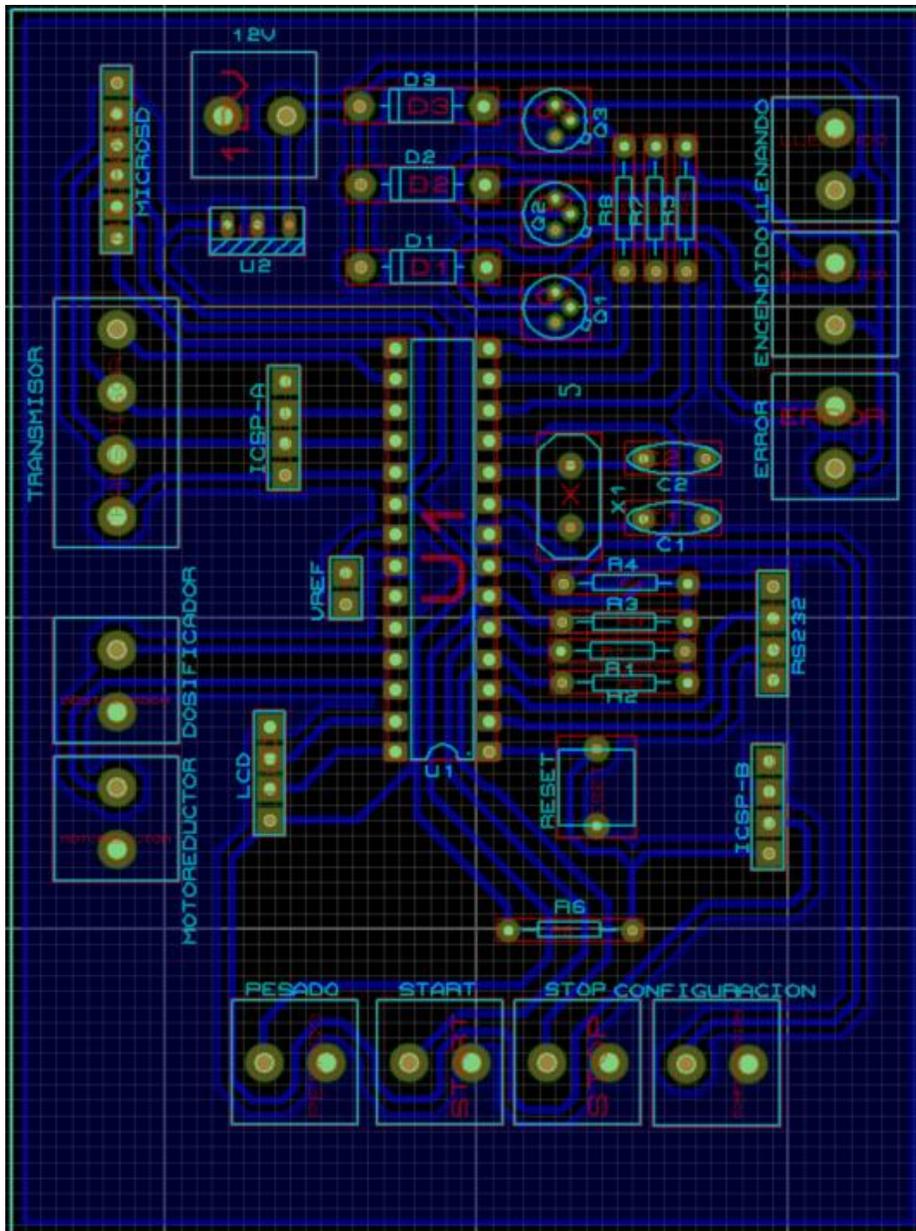


Ilustración 51. PCB diseñada para microcontrolador (Fuente Propia, 2023)

Se propone la fabricación de PCB por parte de un proveedor externo en lugar de la fabricación manual, ya que esta última resulta más costosa, de menor calidad y muy propensa a resultar defectuosa. Un fabricante especializado garantiza los estándares de calidad más altos, reduciendo los errores en la fabricación y siendo más económico. En este caso, se sugiere el fabricante chino JLCPB, que solo necesita el archivo Gerber para realizar una cotización automática y comenzar la producción. La desventaja es que el fabricante solo acepta pedidos mínimos de 5 piezas, pero los costos siguen siendo inferiores.

Los archivos Gerber son documentos vectoriales que identifican la norma para la producción de circuitos impresos. Estos archivos tienen descripciones de las conexiones eléctricas, pistas, vías y pastillas de una PCB junto con todas las instrucciones para su producción. Para extraer los archivos Gerber de las PCB diseñadas, basta con abrir el archivo en Ares de Proteus, seleccionar la opción output y luego en Generar Geber/Excellon files

El software realizara un conjunto de pruebas de producción para verificar que las PCB están listas para ser producidas una vez las pruebas hayan sido exitosas se debe asegurar que los archivos sean guardados como archivos Zip.

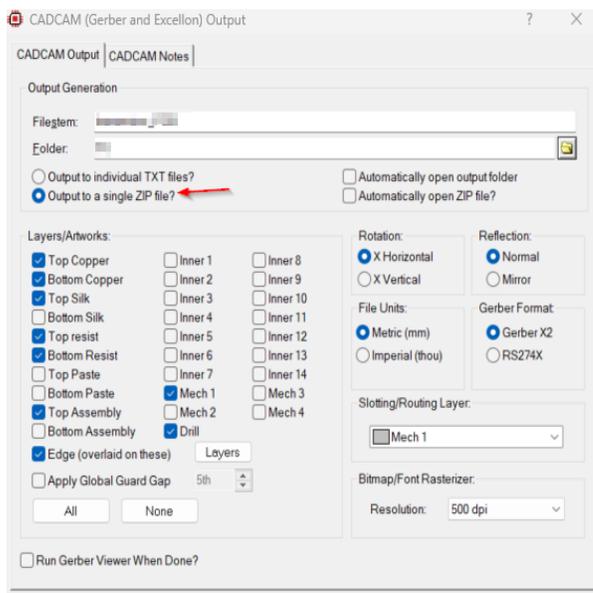


Ilustración 52. Ventana de configuración para archivo Gerber (Fuente Propia, 2023)

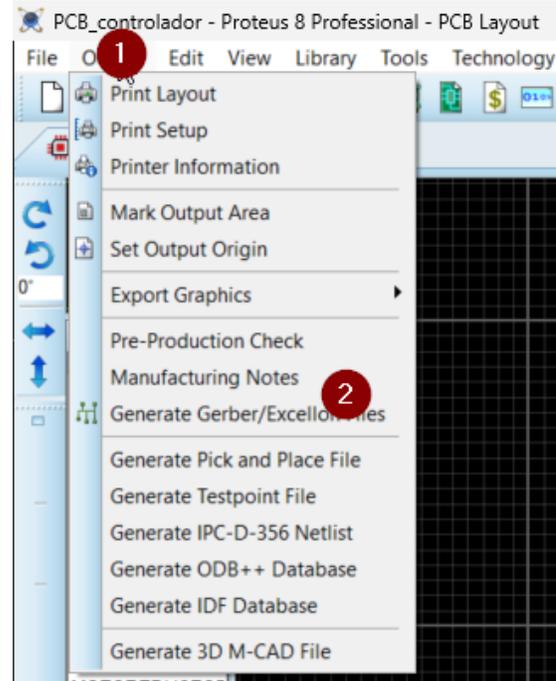


Ilustración 53. Pasos para generar Gerber file (Fuente Propia, 2023)

Al hacer la cotización en JLCPB con los archivos Gerber de ambas PCB, se estima que cada lote de 5 piezas cuesta 2 dólares, lo que equivale a un costo unitario de 40 centavos de dólar. Además, el tiempo de elaboración es de 2 a 3 días. Deben considerarse también los costos y tiempos de envío. Es importante mencionar que JLCPB también ofrece el ensamblado de componentes, pero para este primer prototipo se recomienda hacerlo localmente.

The screenshot displays the JLCPCB quote interface for a 2-layer PCB. The main configuration area includes:

- Base Material:** FR-4 (selected), Flex (New), Aluminum, Copper Core, Rogers, PTFE Teflon.
- Layers:** 1, 2 (selected), 4, High Precision PCB, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20.
- Dimensions:** 75.46 x 39.56 mm.
- PCB Qty:** 5.
- Product Type:** Industrial/Consumer electronics (selected), Aerospace, Medical.

The right sidebar shows the following details:

- Charge Details:** Special Offer (\$2.00), Via Covering (\$0.00), Surface Finish (\$0.00).
- Build Time:** PCB: 2-3 days (\$0.00), 1-2 days (\$7.50).
- Calculated Price:** \$4.00 (original), \$2.00 (special offer).
- Shipping Estimate:** Weight: 0.17kg.

Ilustración 54. Cotización de PCB de circuito transmisor en JLCPCB (Fuente Propia, 2023)

The screenshot displays the JLCPCB quote interface for a 2-layer PCB for a microcontroller. The main configuration area includes:

- Base Material:** FR-4 (selected), Flex (New), Aluminum, Copper Core, Rogers, PTFE Teflon.
- Layers:** 1, 2 (selected), 4, High Precision PCB, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20.
- Dimensions:** 74.58 x 100 mm.
- PCB Qty:** 5.
- Product Type:** Industrial/Consumer electronics (selected), Aerospace, Medical.

The right sidebar shows the following details:

- Charge Details:** Special Offer (\$2.00), Via Covering (\$0.00), Surface Finish (\$0.00).
- Build Time:** PCB: 2-3 days (\$0.00), 1-2 days (\$7.50).
- Calculated Price:** \$4.00 (original), \$2.00 (special offer).
- Shipping Estimate:** Weight: 0.24kg.

Ilustración 55. Cotización de PCB para microcontrolador en JLCPCB (Fuente Propia, 2023)

6.9.2. Simulaciones

6.9.2.1. Simulación de celda de carga y circuito transmisor de peso

Para comprobar el funcionamiento del circuito transmisor de peso se simuló la celda de carga haciendo uso de otro microcontrolador y un par de convertidores digital analógico, los cuales producirán una respuesta diferencial; que irá haciendo incrementos de forma escalonada hasta un valor máximo de 10mv, al medirse en las entradas del amplificador de instrumentación. Esto con el objetivo de simular el proceso de llenado de una bolsa de 25kg.

Con esta simulación se confirman el correcto funcionamiento del amplificador y la referencia de punto cero. Además de validar la fórmula para la relación entre peso en Kg y la salida del circuito transmisor en voltios, la cual se presenta a continuación.

$$peso = \frac{(v - zero_ref) * load_ref}{(v_ref - zero_ref)}$$

Ecuación 11

Donde:

- V es el voltaje medido en el ADC
- zero_ref es el voltaje medido cuando no hay presencia de carga en la bascula
- load_ref es el peso de referencia para relación la variable peso con el voltaje
- v_ref es el voltaje obtenido a la entrada del ADC al usar el peso de referencia.

Estas variables son obtenidas en el proceso de calibración el cual se abordará en el anexo A. La siguiente ilustración muestra la simulación en proteus de la celda de carga y circuito transmisor.

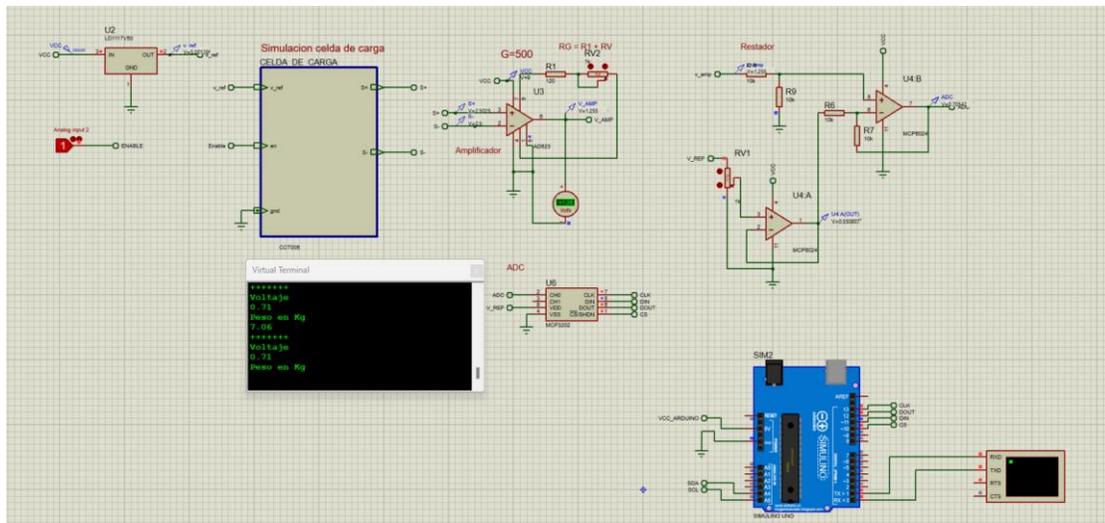


Ilustración 56. simulación de la celda de carga y circuito transmisor (Fuente Propia, 2023)

6.9.2.2. Simulación de sistema en proteus.

Para validar el programa desarrollado se realizó en proteus una simulación completa de todo el sistema, con el objetivo de validar, cada uno de los estados y funciones del script. A través de esta simulación se pudo comprobar el

funcionamiento del menú de configuración, la capacidad de establecer configuraciones como la presentación de la bolsa y tamaño del lote.

Además de poder realizar el proceso de calibración mediante software para obtener el valor de las variables necesarias para la ecuación que relaciona el voltaje leído con el peso a medir. Se comprobó el correcto funcionamiento de la rutina de pesaje, la cual se debe activar con el botón de pesado y detenerse al llegar al peso deseado. Por último, también se validó el estado de error el cual detiene toda acción del sistema, y bloqueando cualquier interacción hasta que se solucione el problema y se presione la combinación de botones establecidas.

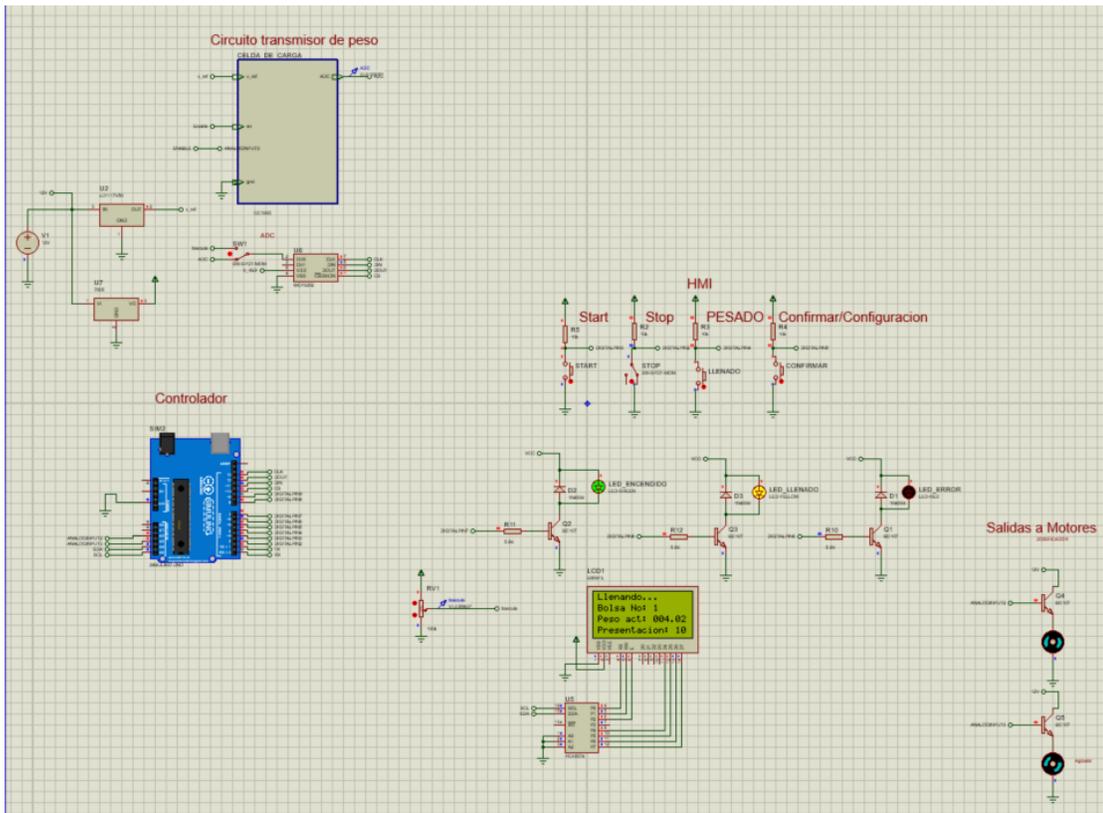


Ilustración 57. simulación del sistema en Proteus (Fuente Propia, 2023)

6.9.2.3. Animación de proceso de llenado en PC SIMU

Haciendo uso del software PC_SIMU se realizó la simulación del proceso de llenado y el HMI (exceptuando LCD). Para realizar la animación de un proceso en PC-SIMU basta con agregar los componentes a través de la barra de herramientas y dando clic en cada uno de ellos para asignar a cada uno de una dirección basada en el PLC S7-200.

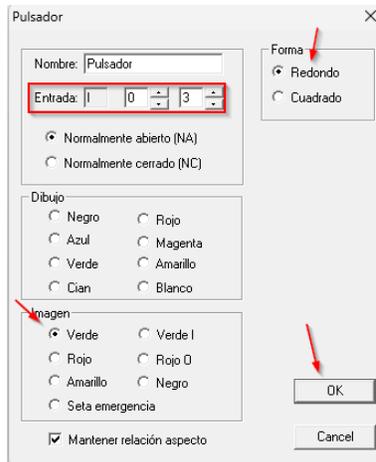


Ilustración 58. Configuración de componentes en PC-SIMU (Fuente Propia, 2023)

La lógica del proceso se logra agregando al programa escrito para el proceso la librería `pc_simu.h` y este se carga en una placa Arduino uno que se conecta físicamente a la computadora, para que pueda comunicarse con PC-SIMU. La comunicación se realiza a través de comunicación serie y la librería `pc_simu.h` es la encargada de asignar a cada pin del microcontrolador una dirección compatible con PC-SIMU. Las direcciones asignadas a cada pin del microcontrolador se encuentran en el anexo D.

Una vez cargado el programa y la placa se ha conectado a la computadora, se debe configurar la comunicación en PC-SIMU, para ello se da clic en archivo y luego configuración. En el menú de configuración se selecciona el puerto en el que está conectado el microcontrolador y la velocidad de transmisión y se guardan la configuración a como se ve en la ilustración.

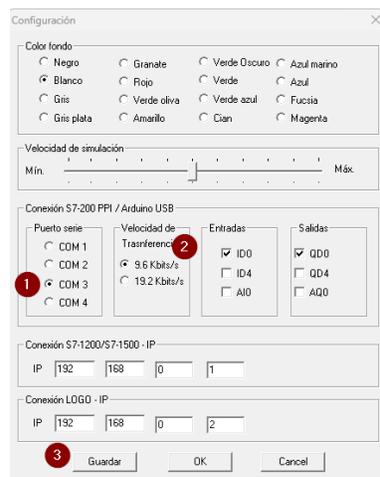


Ilustración 59. configuración de comunicación en PC-SIMU (Fuente Propia, 2023)

Una vez se ha configurado la comunicación, ya se puede realizar la simulación, para iniciarla únicamente se debe dar clic en el logo de Arduino en la barra de herramientas, y dar clic en el botón de start, de esta forma se inicia la simulación, se puede interactuar con la HMI en PC-SIMU y se realiza el proceso programado.

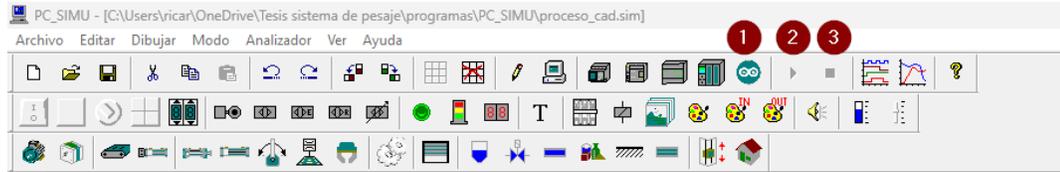


Ilustración 60. Pasos para iniciar y detener simulación en PC-SIMU

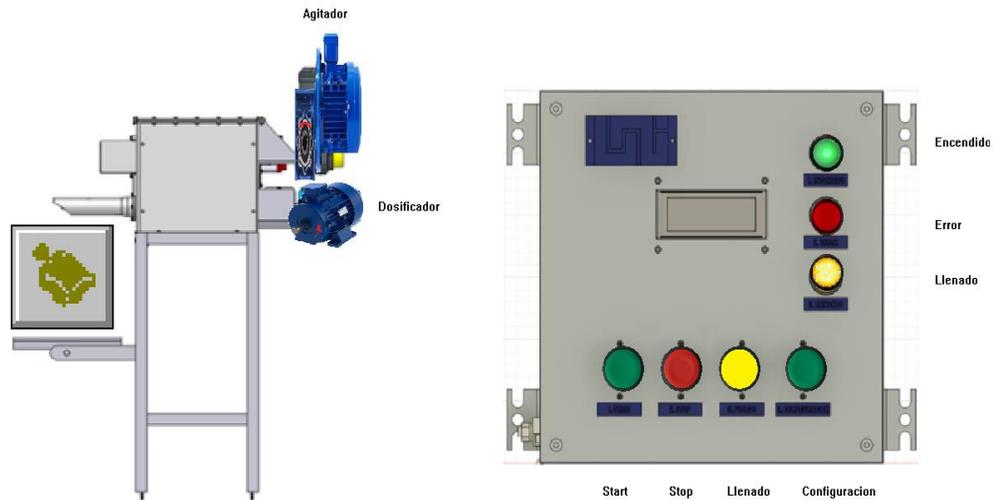


Ilustración 61. Animación de proceso de llenado PC_SIMU (Fuente Propia, 2023)

6.9.3. Implementación de prototipo

Se decidió realizar un prototipo físico a escala para realizar una validación más precisa del diseño propuesto, reemplazando algunos componentes por versiones equivalentes más económicas. Por razones de facilidad y rapidez de adquisición, pero que es capaz de replicar el proceso completo.

Las carcasas se diseñaron utilizando el software de diseño Fusion 360, el cual es un software de modelado 3D que destaca en que puede ser utilizado por principiantes dado su interfaz fácil e intuitiva, además de brindar un formato de salida compatible con software de impresión 3D.

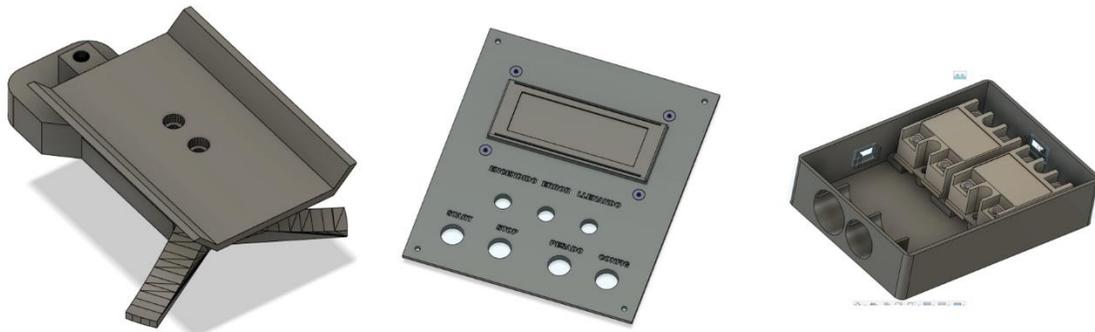


Ilustración 62. Modelado en 3D de los componentes del sistema. (Fuente Propia, 2023)

La implementación de las carcasas se realizó utilizando impresión 3D, el material para la impresión fue PLA que es uno de los materiales más utilizados en la impresión 3D FDM, especialmente por aquellas personas que dan sus primeros pasos dentro de la industria 3D, ya que es muy fácil imprimir con él.



Ilustración 63. Proceso de implementación de componentes del sistema (Fuente Propia, 2023)



Ilustración 64. Prototipo a escala implementado (Fuente Propia, 2023)

6.9.4. Diagrama de flujo de proceso simplificado

Al integrar el controlador el proceso de llenado de las bolsas valvulada se simplifica significativamente respecto al planteado en la etapa de análisis. Esto es debido a que el controlador reduce responsabilidades del operario y evita reprocesos debido a que el pesado se realiza durante el proceso de llenado y deteniéndolo cuando se ha alcanzado el peso deseado. Limitando al operario a únicamente insertar la bolsa valvulada, iniciar el proceso y retirar la bolsa una vez está llena.

La siguiente ilustración muestra el diagrama de flujo del proceso una vez se ha incorporado el controlador.

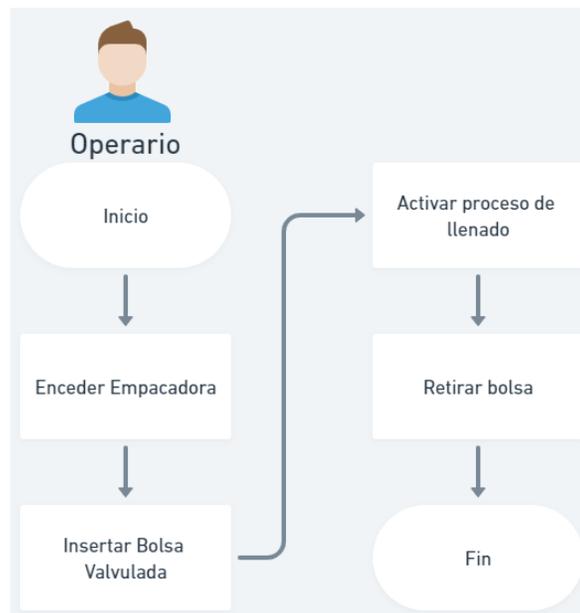


Ilustración 65. Diagrama del proceso con la incorporación del controlador (Fuente Propia, 2023)

6.10. Presupuesto

En la siguiente tabla se muestra el presupuesto de los costos de los componentes para la implementación del proyecto en dólares y su respectivo cambio en córdobas de cada uno de los artículos importados y el importe solo en córdobas de los componentes adquiridos en el país. La tasa de cambio de dólar que se uso fue de 36 córdobas con 36 centavos (C\$ 36.36). Cabe resaltar que los costos relacionados a los materiales y construcción de la estructura de la báscula de carro móvil no han sido incluidos.

Componente	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Unitario C\$	Importe
Celda Rice Lake RL9018SS	1	\$ 524	C\$19,052.64	C\$19,052.64
LD1117	1	\$0.81	C\$29.45	C\$29.45
AD623	1	\$6.21	C\$225.80	C\$225.80
MCP6024	1	\$2.88	C\$104.72	C\$104.72
MCP3202	1	\$3.82	C\$138.90	C\$138.90
Schneider LC1D12M7	2	\$68.00	C\$2,472.48	C\$4,944.96
SSR-10DA	2	\$32.98	C\$1,199.15	C\$2,398.31
LRD12	1	\$62.00	C\$2,254.32	C\$2,254.32
LRD08	1	\$60.00	C\$2,181.60	C\$2,181.60
Siemens 5SY6310-7	1	\$114.78	C\$4,173.40	C\$4,173.40
Atmega 328P	1	\$3.06	C\$111.26	C\$111.26
Luz Piloto verde 12VDC	1	\$1.6	C\$58.18	C\$58.18
Luz piloto amarillo 12VDC	1	\$1.6	C\$58.18	C\$58.18
Luz piloto rojo 12VDC	1	\$1.6	C\$58.18	C\$58.18
Pulsador normalmente abierto	3	\$7	C\$254.52	C\$763.56
Pulsador normalmente cerrado	1	\$7	C\$254.52	C\$254.52
Cable calibre 12 AWG	30	-	C\$30	C\$900.00
LCD 16x4	1	\$6	C\$218.16	C\$218.16
Fuente de poder S-60-12	1	\$12	C\$436.32	C\$436.32
Componentes discretos	1	-	C\$300	C\$300.00
Riel din	1	-	C\$890	C\$890.00
Panel eléctrico de fuerza	1	\$150	C\$5,454.00	C\$5,454.00
Panel eléctrico de Mando	1	\$100	C\$3,636.00	C\$3,636.00
Elaboración de PCB	2	\$4	C\$145.44	C\$290.88
Mano de obra				C\$ 15000
Total				C\$63,933.32

Tabla 18. Presupuesto para la elaboración del prototipo

Además, por tratarse de un producto que debe ser importado al precio mostrado deberá agregarse los costos de envío y aduanales.

Lo costos relacionados al proyecto pueden resumirse en 4 categorías:

- Sensor
- Indicador de peso (Adquisición, controlador, HMI y fuente)
- Sistema de potencia
- Mano de obra

En la siguiente tabla se muestra el costo relacionado para cada una de las categorías

Categoría	Precio
Sensor	\$524
Indicador	\$175.84
Sistema de potencia	\$637.97
Mano de obra	\$412.54

Tabla 19. Resumen de presupuesto en categorías

6.11. Comparación de precio con otros equipos

La siguiente tabla muestra una comparación del costo estimado del primer prototipo de indicador de peso con otros equipos que son ofrecidos por empresas extranjeras con el mismo objetivo de este que es procesar la señal del sensor, programar el proceso y activar actuadores basados en el programa diseñado.

Equipo	Precio
Ricelake 720 (Descontinuado)	\$1,575.00
Mettler Toledo IND570	\$1,739.99
Prototipo	\$175.84

Tabla 20. comparación entre indicadores de peso

Cabe señalar que estos equipos, no incluyen los sensores los cuales deben ser comprados por aparte. Además, por tratarse de un producto que debe ser importado al precio mostrado deberá agregarse los costos de envío y aduanales.

6.12. Presupuesto de prototipo implementado

En la siguiente tabla se detallan cada uno de los componentes utilizados para la elaboración del prototipo, como se mencionó con anterioridad algunos componentes de este difieren con los listados en el diseño original, sin embargo, son componentes equivalentes que permiten realizar la ejecución de todo el proceso. Cada componente se lista con su respectivo precio en córdobas, mostrando que el costo total de este prototipo fue de C\$5280 córdobas netos.

Componente	Cantidad	Precio Unitario C\$	Importe
LED Verde	1	C\$10	C\$10
LED Amarillo	1	C\$10	C\$10
LED Rojo	1	C\$10	C\$10
Pulsador N.O verde	2	C\$20	C\$40
Pulsador N.O amarillo	1	C\$20	C\$20
Pulsador N.C Rojo	1	C\$20	C\$20
Pantalla LCD 20x4 con I2C	1	C\$400	C\$400
Fuente de poder 12V 3A	1	C\$300	C\$300
Celda de carga de 10Kg	1	C\$300	C\$300
Relé de estado solido	2	C\$500	C\$1000
Motor DC 12 V	1	C\$180	C\$180
Motorreductor 12v	1	C\$350	C\$350
Arduino uno con microcontrolador atmega328p	1	C\$500	C\$500
Jumpers hembra-macho (Paquete)	1	C\$120	C\$120
Jumpers macho-macho (Paquete)	1	C\$120	C\$120
Modulo Hx711	1	C\$200	C\$200
Impresión de carcasa panel	1	C\$800	C\$800
Impresión de carcasa relés de estado solido	1	C\$600	C\$600
Impresión de piezas de bascula	1	C\$300	C\$300
Total		C\$5280.00	

Tabla 21. Presupuesto de prototipo implementado

VII. Conclusiones

Al culminar este trabajo monográfico se logró el diseño de un primer prototipo de controlador electrónico para la automatización del proceso de pesado de un sistema de tipo Valve Bag, en el rango de 10 a 25 kilogramos, que presentó un buen desempeño según los resultados obtenidos en las diferentes simulaciones realizadas.

En base a los objetivos que fueron propuestos durante la fase inicial de este proyecto y los resultados obtenidos, se enuncian las siguientes conclusiones:

- Se diseñó un sistema de medición que permite medir el peso durante el proceso de llenado y ajustarse a un rango de entre 10 Kg a 25 Kg con una precisión teórica de 6.1 gramos. Lo que garantizara el cumplimiento de especificaciones de peso requeridas para cada presentación de bolsa valvulada y aumentara la eficiencia del proceso al eliminar la intervención del operario.
- Se desarrolló un sistema de control para el proceso de empaclado y pesaje mediante la incorporación de una interfaz Humano-Máquina (HMI) y un circuito de potencia para el manejo de los actuadores. El cual permite al operario el controlar y realizar ajustes de configuración del proceso.
- El funcionamiento del controlador electrónico diseñado se ha validado mediante la realización de diferentes simulaciones en proteus, Cade-simu y PC-simu. Confirmando que cada uno módulos y el sistema en su totalidad funcionan a como es esperado. Lo que garantiza una fácil implementación sin reprocesos debido a errores de diseño y mal funcionamiento.

VIII. Recomendaciones

El trabajo monográfico desarrollado cumple con todos los objetivos propuesto al inicio de este, No obstante, este es solo un primer prototipo que aún presenta numerosas oportunidades para optimizar y mejorar su rendimiento. Por lo que es necesario implementar algunas mejoras con el objetivo de obtener un próximo prototipo con mayores prestaciones, es por tal razón que se hacen las siguientes recomendaciones, dirigidas a los estudiantes de ingeniería electrónica y/o terceros que deseen seguir con esta investigación:

- Agregar un módulo microSD para almacenar un registro proceso a nivel local, con información relacionada cantidad de bolsas valvulada llenadas, el peso de cada una, el número de lote, entre otros.
- Implementar un sistema de comunicación inalámbrico que permita el control y monitoreo del proceso de forma remota, lo que permitirá también guardar los registros del sistema en una base de datos.
- Desarrollar una aplicación web para el control y monitorio del proceso de forma remota y en tiempo real, utilizando protocolos basados en Internet de las cosas, además de permitir acceder a los registros en la base de datos mediante la generación de reportes.
- Incorporar un módulo densificado basado en pistones que permita asentar y compactar automáticamente el contenido en el interior de la bolsa de la valvulada, eliminando la necesidad de que el operario realice esta tarea de forma manual y mejorando la uniformidad del empaqueo final.
- Agregar un sensor que detecte si la bolsa valvulada se ha insertado de forma correcta e inicie el llenado de forma automática, lo cual aumentara la productividad del proceso y evitara posibles derrames o desperdicios de material.
- Integrar un mecanismo que retire la bolsa de forma automática una vez que haya alcanzado el peso deseado, agilizando así el proceso de empaque y reduciendo el esfuerzo manual requerido por parte del personal.
- Incorporar un sistema de banda transportadora a la salida de la empacadora, con el fin de permitir el desplazamiento automatizado del producto empaqueteo hacia la siguiente etapa del proceso, sin necesidad de esfuerzo físico por parte de los operarios.
- Migrar del tipo de controlador del uso de atmega328p hacia otro el uso de PLC como logos.

IX. Bibliografía

- Aguirre, G. (2018). *Sistema de dosificación para una máquina empaedora de snacks*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Aguirre, G. (2018). *SISTEMA DE DOSIFICACIÓN PARA UNA MÁQUINA EMPACADORA DE SNACKS*. Ibarra: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.
- Aliexpress. (02 de 07 de 2023). Obtenido de https://www.aliexpress.us/item/32425134611.html?spm=a2g0o.productlist.main.9.75f54068hzTBRS&algo_pvid=91b9cc6d-2846-4098-9b48-2efa7aa42ee8&algo_exp_id=91b9cc6d-2846-4098-9b48-2efa7aa42ee8-4&pdp_npi=4%40dis%21USD%214.20%214.2%21%21%214.20%21%21%402103241d1
- Alvarado, G. (2015). *El empaque y su influencia en la conducta de compra del consumidor de la ciudad de quetzaltenango*. Quetzaltenango: Universidad Rafael Landívar.
- ALVARADO, G. (2015). *EL EMPAQUE Y SU INFLUENCIA EN LA CONDUCTA DE COMPRA DEL CONSUMIDOR DE LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO*. QUETZALTENANGO: UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR.
- ALVAREZ, A., & CEVALLOS, D. (2016). *LOS ENVASES Y EMBALAJES DEL COMERCIO INTERNACIONAL Y LA NORMATIVA ECUATORIANA EN LA FACILITACION DEL COMERCIO INTERNACIONAL*. GUAYAQUIL: UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL.
- Álvarez, A., & Cevallos, D. (2016). *Los envases y embalajes del comercio internacional y la normativa ecuatoriana en la facilitación del comercio internacional*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Amazon. (02 de 07 de 2023). Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/agujero-indicadora-pulgadas-amarillo-unidades/dp/B081FCFLVT?th=1>
- Analog Device. (2020). *AD623 - Datasheet*. Norwood.
- Antamba, C. (2018). *Sistema de sellado horizontal y vertical de funda para una máquina empaedora de snacks*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Antamba, C. (2018). *SISTEMA DE SELLADO HORIZONTAL Y VERTICAL DE FUNDA PARA UNA MÁQUINA EMPACADORA DE SNACKS*. IBARRA: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

- APG-Globe. (15 de 07 de 2022). *APG Globe*. Obtenido de FOIL DE ALUMINIO: <https://www.apgglobe.com/foil-de-aluminio-2/>
- Aviles, M., & Caviedes, G. (2011). *Implementación del sistema de dosificación y control de pesaje dinámico para empaquetamiento de comestibles sólidos*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- BariteWorld – Industrial Minerals & Chemicals Company. (04 de enero de 2023). *bariteworld.com*. Obtenido de [imagen recopilada el 04 de enero del 2023]: <https://bariteworld.com/additional-products/fibc-usa/>
- Bellini, B. (2009). *Sensores de presión utilizados en las plataformas de fuerza aplicadas al estudio de la posturografía*. Montevideo: Universidad de la Republica.
- Brunete, A., San Segundo, P., & Herrero, R. (2020). *Introducción a la Automatización Industrial*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- Cangas, J. :. (2007). *diseño y construcción de una máquina semiautomática gravimétrica para el llenado con tierra de bolsas usadas en viveros forestales*. Quito.
- Casa Blanco. (02 de 6 de 2023). Obtenido de https://www.casablanca.com/DETALLE/TERMOMAGNETICO-3X10A-6KA-5SY6310-7-SIEMENS/ITEM_ID=187951/casablanca-electricidad.aspx
- Castro, K., & Blando, K. (2017). *CONTROLADOR DE LÓGICA PROGRAMABLE DE BAJO COSTO CON MÓDULOS DE ENTRADA Y SALIDA, ANALÓGICOS Y DIGITALES, PARA SEÑALES INDUSTRIALES*. Managua: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA.
- CEMEX Nicaragua. (04 de 01 de 2023). *cemexnicaragua.com*. Obtenido de [imagen recopilada el 04 de enero del 2023]: <https://www.cemexnicaragua.com/productos-y-servicios/cemento/nuestros-cementos>
- Cruz, A., & Gaitán, B. (2016). *Diseño de una máquina empaquetadora automática para polvos y cereales para las PYMES*. Managua: UNI.
- Duque, F. (2016). *Diseño de una máquina empacadora de cemento mortero*. Sangolqui: Universidad de las Fuerzas Armadas Espe.
- Duque, F. (2016). *DISEÑO DE UNA MÁQUINA EMPACADORA DE CEMENTO MORTERO*. Sangolqui: UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE.
- EBS. (2017). *Empaquetadora VR-5000 - Manual de operacion y mantenimiento*. Paraná.

- Electronica, M. (02 de 7 de 2023). Obtenido de <https://mvelectronica.com/producto/fuente-conmutada-entrada-110-220-ca-salida-12v-5a-60w>
- Eneque, J. (2019). *Rediseño de una planta industrial para cubrir la demanda de contenedores flexibles*. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Eneque, J. (2019). *REDISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA CUBRIR LA DEMANDA DE CONTENEDORES FLEXIBLES*. Chiclayo: UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO.
- Erickson, K. (2016). *Programmable Logic Controllers: An Emphasis on Design and Application*. Missouri: Dogwood Valley Press, LLC.
- Fuente Propia. (2023). *Fuente Propia*. Managua: Fuente Propia.
- Garcia, F., & Gonzalez, A. (2009). *Elaboración y automatización de una máquina empacadora industrial a escala*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana.
- GARCIA, F., & GONZÁLEZ, A. (2009). *ELABORACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EMPACADORA INDUSTRIAL A ESCALA*. Bucaramanga: UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA.
- Garcimartin, A. (2009). *Sistemas de medida y adquisición de datos*. Pamplona: Universidad de Navarra.
- Gómez, J., & Castro, C. (2019). *DISEÑO DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA*. Managua: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Gómez, J., & Castro, C. (2019). *Diseño de un módulo didáctico para el laboratorio de automatización de la carrera de ingeniería electrónica*. Managua: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Grupo Orna S.A. (04 de 01 de 2023). *ornasa.com*. Obtenido de [imagen recopilada el día 04 de enero del 2023]: <https://ornasa.com/nicaragua/>
- Guerrero, R. (2011). *Electrotecnia - UF0149*. Innovación y Cualificación, S.L.
- Harper, E. (2005). *Guía para el diseño de instalaciones eléctricas, residenciales, industriales y comerciales*. Ciudad de Mexico: Editorial Limusa S.A. De C.V.
- Harper, G. (1987). *El ABC de las Maquinas Electrica III*. Limusa.

- HBM. (06 de 01 de 2023). *hbm.com*. Obtenido de [imagen recopilada el 06 de enero del 2023]: <https://www.hbm.com/es/7318/como-funciona-un-transductor-de-fuerza-piezoelectrico>
- Hermida, E. (2011). *Polimeros*. Buenos Aires: INET.
- Herrera, E., & Lumbres, R. (2018). *Diseño de una máquina vertical empacadora, dosificadora y selladora de accionamiento mecánico – neumático controlado por un plc para fundas de arroz*. Pimentel: Universidad Señor de Sipan.
- Herrera, E., & Lumbres, R. (2018). *DISEÑO DE UNA MÁQUINA VERTICAL EMPACADORA, DOSIFICADORA Y SELLADORA DE ACCIONAMIENTO MECÁNICO – NEUMÁTICO CONTROLADO POR UN PLC PARA FUNDAS DE ARROZ*. Pimentel: Universidad Señor de Sipan .
- Illanes, J. (2004). *Envases flexibles plasticos: Uso y aplicacion en la industria alimentaria*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Industiras Macro S.A. (04 de 01 de 2023). *industriasmacro.com*. Obtenido de [imagen recopilada el 04 de enero del 2023]: <https://industriasmacro.com/index.php/es/productos/2016-01-26-20-30-01>
- Industrias_Macro_S.A. (26 de 01 de 2016). *Bolsas boca abierta*. Obtenido de Industrias Macro S.A: <https://industriasmacro.com/index.php/es/productos/2016-01-26-20-30-01>
- INPAK SYSTEMS, I. (16 de 12 de 2020). *Types of Valve Bags*. Obtenido de www.inpaksystems.com: <https://www.inpaksystems.com/types-of-valve-bags/>
- Inpak Systems, I. (2022). *Open Mouth Bag Filling Scales*. Obtenido de Inpak Systems, Inc: <https://www.inpaksystems.com/bag-filling/open-mouth-bag-filling-scales/>
- International Electrotechnical Commission. (2021). *IEC 60204-1*.
- Ipsisa. (2022). *Propuesta de bascula de carro movil para ensacadora ValveBag*. Managua.
- Iza, M., & Medina, A. (2013). *Diseño y construcción de una máquina dosificadora y empacadora controlada por PLC para la línea de producción de snaks de la empresa ECUAMEX S.A*. Sangolqui: Escuela Politecnica del Ejercito.
- Kleckers, T. (20 de 07 de 2022). *Como funciona un transductor de fuerza piezoelectrico*. Obtenido de hbm.com: <https://www.hbm.com/es/7318/como-funciona-un-transductor-de-fuerza-piezoelectrico/>

- LH Electro Componentes S.A. (28 de octubre de 2023). *LH Electro Componentes S.A.* Obtenido de LH Electro Componentes S.A.: <https://lh.pe/ssr-10da-rele-estado-solido-ssr-10da-10a-32v-entrada-380vac-p-8880.html>
- Mandado-Perez, E. (2007). *Microcontroladores PIC Sistema integrado para el autoaprendizaje*. Barcelona: Marcombo.
- Mercado Libre. (02 de 07 de 2023). Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-1402619970-taiss-3-interruptores-pulsadores-momentaneos-de-0866in-10-_JM
- Molano, J., & Ivan, M. (2020). *Diseño y construcción de una máquina automatizada para empacar y sellar paquetes de mora de hasta 500 gramos*. Bucaramanga: Universidad Autonoma de Bucaramanga.
- Moreno, E. (2010). *Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de fundas para arroz*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- MORENO, E. (2010). *DISEÑO DE UNA MÁQUINA EMPACADORA, DOSIFICADORA Y SELLADORA DE FUNDAS PARA ARROZ*. Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
- Moreno, K., Ricardo, E., & Sebastian, D. (2018). *Prototipo dosificador de granos para supermercados pequeños*. Cali: Institución Universitaria Antonio José Camacho.
- NVENIA a duravant company. (04 de 01 de 2023). *nvenia.com*. Obtenido de [imagen recopilada el 04 de enero del 2023]: <https://www.nvenia.com/es/equipment/model-600nw-net-weigh-bagging-scale/>
- Park, J., & Mackay, S. (2003). *Practical Data Acquisition for Instrumentation and Control Systems*. Oxford: Newnes.
- Peñalver, A. (10 de 01 de 2023). *Sacas Big Bags*. Obtenido de FIBC, ¿qué es y qué relación tiene con los sacos big bag?: <https://www.sacosbigbagusados.es/ficb-que-es-relacion-sacos-big-bag#:~:text=Normalmente%2C%20es%20un%20contenedor%20de,en%20la%20industria%20del%20caucho.>
- PINCAY, H., & TIGRERO, O. (2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE BÁSCULA DE PESAJE DINÁMICO PARA DOSIFICACIÓN DE MATERIA SÓLIDA*. GUAYAQUIL: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA .
- Pincay, H., & Tigrero, O. (2013). *Diseño y construcción de báscula de pesaje dinámico para dosificación de materia sólida*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.

- Quisirumbay, D., & Bedoya, I. (2007). *Diseño y construcción de una máquina semiautomática selladora de fundas plásticas con una capacidad de treinta sellos por minuto*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Ramírez, K., & Blandon, K. (2017). *Controlador de lógica programable de bajo costo con módulos de entrada y salida, analógicos y digitales, para señales industriales*. Managua: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ramon, G. (2017). *Electrotecnia. ENAE0108*. IC Editorial.
- Ricalake. (15 de 07 de 2022). *Weight Indicators and Controllers*. Obtenido de ricelake.com: <https://www.ricelake.com/product-landing-pages/indicators-and-controllers/>
- Rice Lake Weighing Systems. (2023). *RL9018SS Load Cell Catalog Page*.
- RiceLake. (2018). *Manual de Celdas de Carga y Módulos de Pesaje*. Wisconsin: Rice Lake Weighing Systems.
- Ricelake weighing system. (06 de 01 de 2023). *ricelake.com*. Obtenido de [imagen recopilada el 06 de enero del 2023]: <https://www.ricelake.com/products/720i-programmable-weight-indicator-and-controller>
- Rodríguez, F., Hernández, A., & Ramírez, J. (2018). Adquisición de datos analógicos con alta precisión usando una Computadora de Placa Única. *RIELAC*, 68-76.
- SaintyCo. (04 de 01 de 2023). *saintytec.com*. Obtenido de [imagen recopilada el 04 de enero del 2023]: <https://www.saintytec.com/valve-bag-filling-machine/>
- Saja , J. A. (2005). *Materiales: Estructura, Propiedades y Aplicaciones*. España: Cengage Learning Editores.
- Schneider Electric. (02 de 06 de 2023). Obtenido de <https://www.se.com/mx/es/product/LRD12/tesys-d-rel%C3%A9s-de-protecci%C3%B3n-t%C3%A9rmica-55-8-a-clase-10a/>
- Schneider Electric. (06 de 05 de 2023). <https://www.se.com/ar/es/product/LC1D12M7/contactor-tesys-deca-3p-12a-ac3-220v-ac-50-60hz/>. Obtenido de <https://www.se.com/ar/es/product/LC1D12M7/contactor-tesys-deca-3p-12a-ac3-220v-ac-50-60hz/>: <https://www.se.com/ar/es/product/LC1D12M7/contactor-tesys-deca-3p-12a-ac3-220v-ac-50-60hz/>
- Smurfit Kappa. (20 de 07 de 2022). *smurfitkappa.com*. Obtenido de Sacos Boca Abierta: <https://www.smurfitkappa.com/ar/products-and->

services/packaging/open-mouth-sacks#:~:text=Los%20sacos%20boca%20abierta%20se,harina%20o%20comida%20para%20animales.

Tirado, C. (2012). *Diseño y construcción de una ensacadora de cemento mortero para bolsa valvulada*. Bogotá: Universidad de San Buenaventura.

Tirado, C. (2012). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ENSACADORA DE CEMENTO MORTERO PARA BOLSA VALVULADA*. BOGOTÁ: UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA.

Tocci, R. (2003). *Sistemas digitales: principios y aplicaciones*. PEARSON EDUCACION.

Torres, L. (2018). *AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE PESADO PARA UNA EMPACADORA DE CEREALES, CLASE XII SEGÚN NORMA OIML R 51-1, Y RANGO DE 0 KG A 2 KG*. MANAGUA: UNI.

Turpack. (04 de 01 de 2023). *turpack.com*. Obtenido de [imagen recopilada el 04 de enero del 2023]: <https://turpack.com/packaging-machines/vertical-form-fill-seal-machines/vertical-form-fill-and-seal-packaging-machine-for-powdered-products-with-auger/>

Ulma Packing. (04 de 01 de 2023). *ulmapackaging.com*. Obtenido de [imagen recopilada el 04 de enero del 2023]: <https://www.ulmapackaging.com/es/maquinas-de-ensado/flow-pack-hffs/florida>

Vidales, M. (2003). *El Mundo del Envase: Manual Para el Diseño y Producción de Envases y Embalajes*. Mexico: Gustavo Gili.

WALTEROS, C. (2018). *DISEÑO DE MAQUINA EMPACADORA DE PRODUCTOS PULVERIZADOS EN EL SECTOR FERRETERO*. Pereira: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE PEREIRA.

Walteros, C. (2018). *Diseño de maquina empacadora de productos pulverizados en el sector ferretero*. Pereira: Universidad Católica de Pereira.

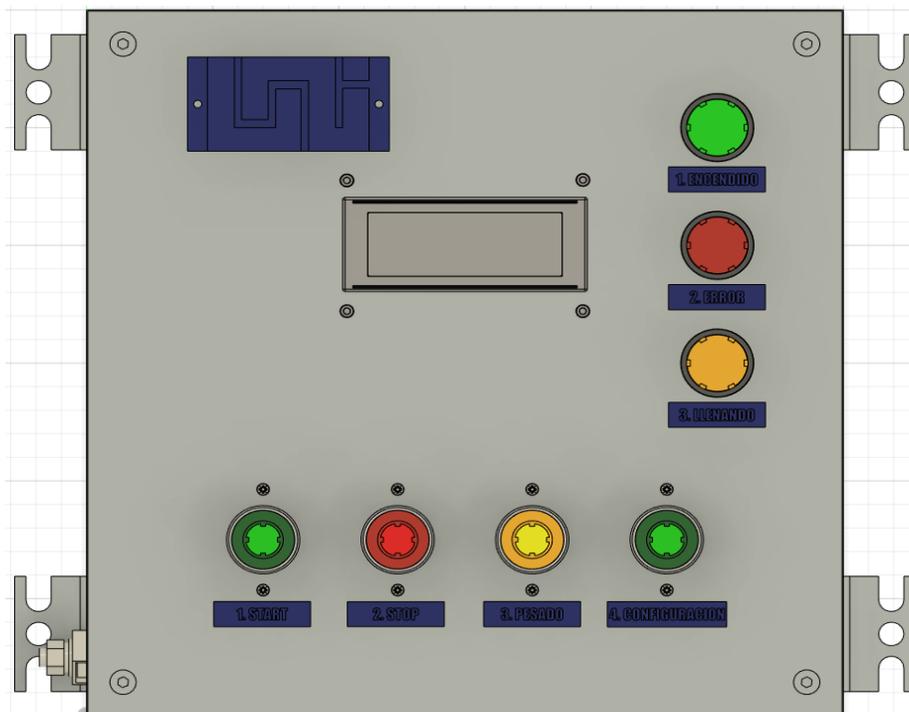
YSS Repuestos Group, Inc. (04 de 01 de 2023). *yss-repuestos.myshopify.com*. Obtenido de [imagen recopilada el 04 de enero del 2023]: <https://yss-repuestos.myshopify.com/products/fs-100-200-300-400-500>

ANEXOS

A. MANUAL DE USUARIO

CONTROLADOR PARA PROCESO DE PESAJE DE EMPACADORA VALVE BAG

Manual de Usuario



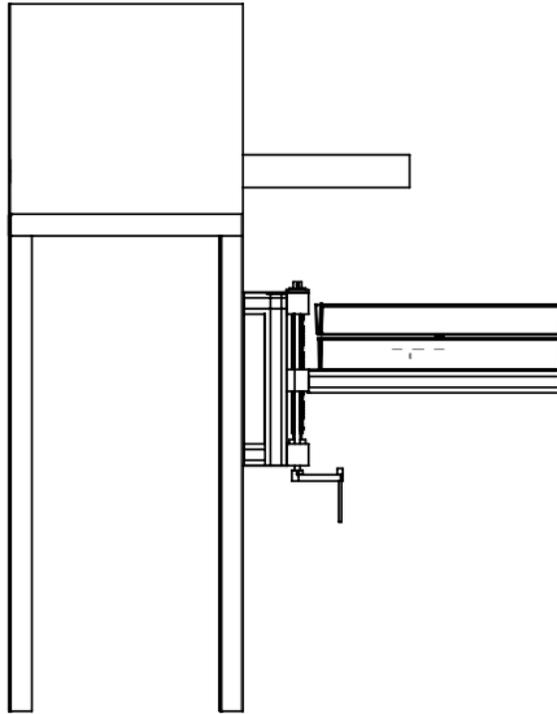
- Meyling Salinas
- Kevin Jirón
- Francis Soto Ampié

MAYO 2023

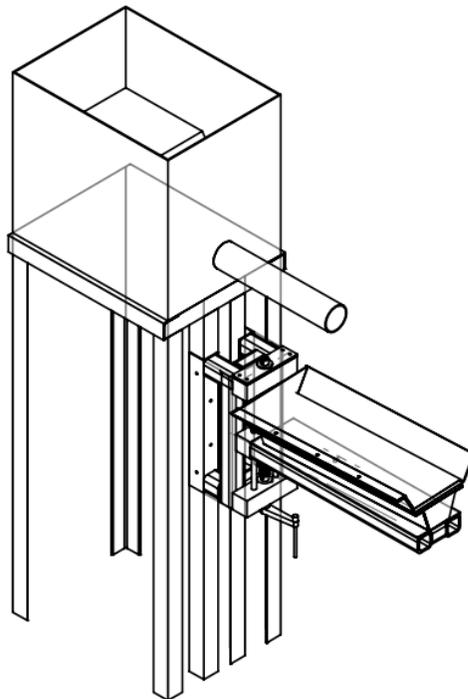
- Introducción
- Recomendaciones
- Interfaz
- Proceso de configuración
- Proceso de pesaje
- Modo bascula
- Calibración

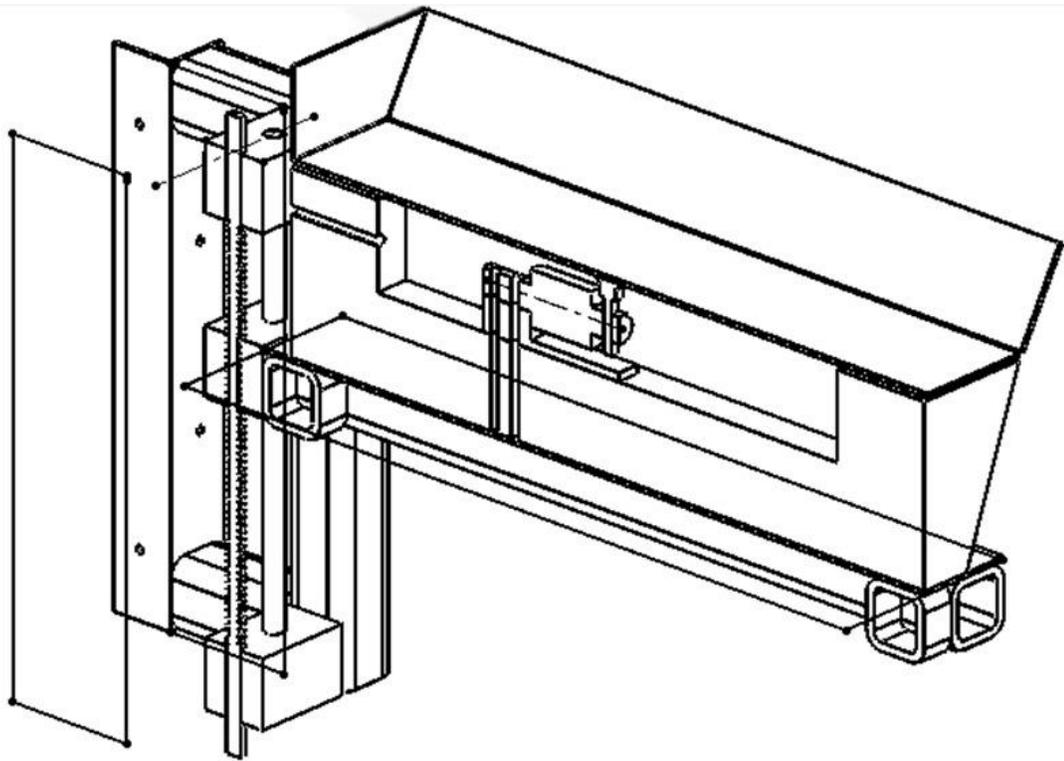
B. VISTAS DE MAQUINA EMPACADORA CON BASCULA INTEGRADA

Vista Lateral derecha



Vista isométrica





Corte transversal de Bascula con celda de carga

C. CÓDIGO FUENTE DEL CONTROLADOR

```
//liberias
#include <EEPROM.h>           // usar memoria eeprom
#include <Wire.h>             // comunica serie como i2c
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // lcd
#include <MCP3202.h>          //adc
LiquidCrystal_I2C lcd(0x20, 16, 4); //I2C address for PCF8574 in proteus
#include <FlexiTimer2.h>      ///libreria timer2

////pines i/o/////////////////
///Entradas
const byte stopButton = 2;   // boton de stop
const byte startButton = 3; //interrupcion por evento externo
const byte fillButton = 4;  //Boton de llenado
const byte okButton = 5;    //boton de confirmacion

///Outputs
const byte DosificadorM = A2; //PIN A2
const byte AgitadorM = A3;    // PIN A3
const byte ledError = 6;
const byte ledOn = 7;
const byte ledFill = 8;
//ADC
int Vdd = 5;                  //change according to your Vdd value.
MCP3202 adc = MCP3202(10);   //Parameter passed is the CS pin number. Change
                              according to requirement.
float weight = 0.00;
float voltage1 = 0;
float channel1 = 0;
////////////////////////////////////
enum Presentaciones {
    small = 10,
    medium = 15,
    large = 20,
    xlarge = 25,
};

//////////Variables del proceso
int eeAddress = 0;           //direccion del eeprom
int bagSize = small;        // presentacion de la bolsa
int lote = 10;
int pending = 10;
bool cleanFlag = true;
```



```

////maquina de estados ///// que describe el proceso
int estado;
enum State {
    Inicio,          //0
    Configuracion,  //1
    Calibracion,     //2
    Espera,          //3
    Llenado,         //4
    Stop,            //5
    Error,           //6
    Bascula,        //7
};

char msg[16] = ""; //imprimi en lcd

void setup() {
    estado = Inicio; //estado inicial
    //inicializar LCD
    lcd.init();
    lcd.createChar(0, empty); //limpiar caracter
    lcd.createChar(1, arrow); //crear simbolo de flecha
    //init adc
    adc.begin();
    // entradas
    pinMode(startButton, INPUT_PULLUP);
    pinMode(stopButton, INPUT_PULLUP);
    pinMode(fillButton, INPUT_PULLUP);
    pinMode(okButton, INPUT_PULLUP);
    pinMode(DosificadorM, OUTPUT);
    pinMode(AgitadorM, OUTPUT);
    pinMode(ledOn, OUTPUT);
    pinMode(ledError, OUTPUT);
    pinMode(ledFill, OUTPUT);
    // in icializar serial
    Serial.begin(9600);
    Serial.setTimeout(500);

    ///interrupciones

    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(stopButton), StopFuction, RISING);

    ///timer 2 define los tiempos de muestreo
    FlexiTimer2::set(10, 1.0 / 1000, getPeso);
    FlexiTimer2::start();
}

```

```

}

void loop() {
  switch (estado) {
    case Inicio:
      //leer de eeprom
      EEPROM.get(eeAddress + 40,zero_ref);
      EEPROM.get(eeAddress + 30,v_ref);
      EEPROM.get(eeAddress + 20,load_ref);
      bagSize = EEPROM.read(eeAddress);
      lote = EEPROM.read(eeAddress + 2);
      pending = EEPROM.read(eeAddress + 4); // se debe leer del eeprom
      //presentacion de bolsa y cantidad de lote se cargara a travez de
      eeprom

      //Rutina de LCD
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print(F("UNI"));
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print(F("Valve Bag Filler"));
      lcd.setCursor(-4, 2);
      lcd.print(F("Presione Start"));
      lcd.setCursor(-4, 3);
      lcd.print(F("0 configuracion"));
      digitalWrite(ledOn, HIGH);
      if (digitalRead(startButton) == LOW) {
        lcd.clear();
        estado = Espera;
      }

      if (digitalRead(okButton) == LOW) {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print(MENSAJES[0]);
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(MENSAJES[1]);
        lcd.setCursor(-4, 2);
        lcd.print(MENSAJES[2]);
        lcd.setCursor(-4, 3);
        lcd.print(MENSAJES[3]);
        delay(2000);
        lcd.clear();
        estado = Configuracion;
      }
      break;
  }
}

```

```

case Espera:

    digitalWrite(AgitadorM, HIGH);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(F("configuracion"));
    sprintf(msg, "Presentacion: %d", bagSize);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(msg);
    sprintf(msg, "Cant Lote: %d", lote);
    lcd.setCursor(-4, 2);
    lcd.print(msg);
    sprintf(msg, "Pendiente: %d", pending);
    lcd.setCursor(-4, 3);
    lcd.print(msg);

    if (pending == 0) {
        lcd.clear();
        digitalWrite(AgitadorM, LOW);
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print(F("Lote completo"));
        delay(2000);
        lcd.clear();
        pending = lote;
        EEPROM.write(eeAddress + 4, pending);
        estado = Inicio;
    } else if (digitalRead(fillButton) == LOW) {
        lcd.clear();
        estado = Llenado;
    }
    //else {
    //    estado = Espera;
    // }
    break;
case Llenado:

    digitalWrite(ledFill, HIGH);
    digitalWrite(DosificadorM, HIGH);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(F("Llenando..."));
    sprintf(msg, "Bolsa No: %d", lote - pending + 1);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(msg);
    sprintf(msg, "Peso act: %d%d%d.%d%d", buff_measure[4],
buff_measure[3], buff_measure[2], buff_measure[1], buff_measure[0]);
    lcd.setCursor(-4, 2);
    lcd.print(msg);

```

```

sprintf(msg, "Presentacion: %d", bagSize);
lcd.setCursor(-4, 3);
lcd.print(msg);
if (weight >= bagSize) {
    pending--;
    weight = 0;
    EEPROM.write(eeAddress + 4, pending); //escribir pendiente en
eeprom
    digitalWrite(ledFill, LOW);
    digitalWrite(DosificadorM, LOW);
    lcd.clear();
    estado = Espera;
}
// else {
//     estado = Llenado;
// }
break;
case Stop:
    //FlexiTimer2::stop();
    if (cleanFlag) {
        cleanFlag = false;
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print(F("Error registrado"));
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(F("Resuelva y"));
        lcd.setCursor(-4, 2);
        lcd.print(F("Presione Start"));
        lcd.setCursor(-4, 3);
        lcd.print(F("y configuracion"));
    }

    if (digitalRead(startButton) == LOW) {
        startFlag = true;
    }
    if (startFlag) {
        if (digitalRead(okButton) == LOW) {
            okFlag = true;
        }
    }
    if (startFlag && okFlag) {
        digitalWrite(ledError, LOW);
        lcd.clear();
        startFlag = true;
        okFlag = true;
        cleanFlag = true;
    }
}

```

```

        delay(150);
        estado = Inicio;
    }
    // else {
    //     estado = Stop;
    // }
    break;
case Bascula:
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Modo bascula");
    sprintf(msg, "Peso act: %d%d%d.%d%d", buff_measure[4],
buff_measure[3], buff_measure[2], buff_measure[1], buff_measure[0]);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(msg);
    lcd.setCursor(-4, 2);
    lcd.print("Press Ok para");
    lcd.setCursor(-4, 3);
    lcd.print("regresar");
    if (digitalRead(okButton) == LOW) {
        lcd.clear();
        estado = Inicio;
    }
    // else {
    //     estado = Bascula;
    // }
    break;
case Configuracion:
    lcd.setCursor(pos_cursor_x, pos_cursor_y);
    lcd.write(1);
    lcd.setCursor(1, 0);
    lcd.print(MENSAJES[0]);
    lcd.setCursor(1, 1);
    lcd.print(MENSAJES[6]);
    lcd.setCursor(-3, 2);
    lcd.print(MENSAJES[7]);
    lcd.setCursor(-3, 3);
    lcd.print(MENSAJES[15]);

    if (digitalRead(startButton) == LOW) {
        set_pos_y(2);
    }
    if (digitalRead(fillButton) == LOW) {
        set_pos_y(1);
    }
    if (digitalRead(okButton) == LOW) {
        if (pos_cursor_y == 0) {

```

```

        lcd.clear();
        estado = Inicio;
    } else if (pos_cursor_y == 1) {
        lcd.clear();
        set_size();
        set_lote();
        confirmar_config();
        lcd.clear();
        estado = Inicio;

    } else if (pos_cursor_y == 2) {
        lcd.clear();
        estado = Calibracion;

    } else if (pos_cursor_y == 3) {
        lcd.clear();
        estado = Bascula;
    }
    pos_cursor_x = 0;
    pos_cursor_y = 0;
}
break;
case Calibracion:

    zero_load_s();
    load_reference_s();
    estado = Inicio;
    break;
}
}

////set cursor pos_x/////
void set_pos_x(int pos_y) {
    if (pos_y < 2) {
        pos_cursor_x = 0;
    } else if (pos_y >= 2)
        pos_cursor_x = -4;
}
void set_pos_y(int op) {
    lcd.setCursor(pos_cursor_x, pos_cursor_y);
    lcd.write(0);
    if (op == 1) {
        pos_cursor_y = pos_cursor_y + 1;
        if (pos_cursor_y > 3) {
            pos_cursor_y = 0;

```

```

    }
}
if (op == 2) {
    pos_cursor_y = pos_cursor_y - 1;
    if (pos_cursor_y < 0) {
        pos_cursor_y = 3;
    }
}
set_pos_x(pos_cursor_y);
}
////////////////////////////////funciones del proceso////////////////////////////////

void getPeso() {
    if (estado == Llenado || estado == Espera || estado == Calibracion ||
estado == Bascula) {
        float normalized_voltage;
        channel1 = adc.readChannel(0);
        voltage1 = (channel1 * Vdd) / 4096.0;
        normalized_voltage=voltage1 - zero_ref;
        if(normalized_voltage <0){
            normalized_voltage=0;
        }
        weight = normalized_voltage*load_ref/(v_ref-zero_ref);

        digito(weight);
    }
}

void zero_load_s() {
    bool confirm = false;
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("retire carga");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Press Ok");

    while (!confirm) {
        lcd.setCursor(-4, 2);
        sprintf(msg, "Peso act: %d%d%d.%d%d", buff_measure[4], buff_measure[3],
buff_measure[2], buff_measure[1], buff_measure[0]);
        lcd.print(msg);
        if (digitalRead(okButton) == LOW) {
            zero_ref = voltage1;
            EEPROM.put(eeAddress + 40, zero_ref);
            confirm = true;
            lcd.clear();
        }
    }
}

```

```

}
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("nueva ref");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("actualizada");
delay(500);
}

void load_reference_s() {
  bool confirm = false;
  int load = 0;
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Poner carga y");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Ingreso ref");
  lcd.setCursor(-4, 2);
  lcd.print("Press Ok");
  delay(2000);
  lcd.clear();
  while (!confirm) {
    lcd.setCursor(0, 1);
    sprintf(msg, "ref actual %d", load);
    lcd.print(msg);
    lcd.setCursor(-4, 2);
    sprintf(msg, "Peso act: %d%d%d.%d%d", buff_measure[4], buff_measure[3],
buff_measure[2], buff_measure[1], buff_measure[0]);
    lcd.print(msg);
    if (digitalRead(startButton) == LOW) {
      load += 1;
      delay(100);
    }
    if (digitalRead(fillButton) == LOW) {
      load -= 1;
      delay(100);
      if (load < 0) {
        load = 0;
      }
    }
    if (digitalRead(okButton) == LOW) {
      load_ref = load;
      EEPROM.put(eeAddress + 20, load_ref);
      v_ref = voltage1;
      EEPROM.put(eeAddress + 30, v_ref);
      confirm = true;
      lcd.clear();
    }
  }
}

```

```

}
}
void set_size() {
    bool confirm = false;
    lcd.setCursor(1, 0);
    lcd.print(MENSAJES[8]);
    lcd.setCursor(1, 1);
    lcd.print(MENSAJES[9]);
    delay(2000);
    lcd.clear();
    while (!confirm) {
        lcd.setCursor(pos_cursor_x, pos_cursor_y);
        lcd.write(1);
        lcd.setCursor(1, 0);
        lcd.print(MENSAJES[10]);
        lcd.setCursor(1, 1);
        lcd.print(MENSAJES[11]);
        lcd.setCursor(-3, 2);
        lcd.print(MENSAJES[12]);
        lcd.setCursor(-3, 3);
        lcd.print(MENSAJES[13]);
        if (digitalRead(startButton) == LOW) {
            set_pos_y(2);
            delay(100);
        }
        if (digitalRead(fillButton) == LOW) {
            set_pos_y(1);
            delay(100);
        }
        if (digitalRead(okButton) == LOW) {
            delay(100);
            if (pos_cursor_y == 0) {
                bagSize = small;
                confirm = true;
            } else if (pos_cursor_y == 1) {
                bagSize = medium;
                confirm = true;
            } else if (pos_cursor_y == 2) {
                bagSize = large;
                confirm = true;
            } else if (pos_cursor_y == 3) {
                bagSize = xlarge;
                confirm = true;
            }
        }
    }
}
}
}

```

```

    lcd.clear();
    EEPROM.write(eeAddress, bagSize);
}

void set_lote() {
    bool confirm = false;
    int cant = 0;
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("seleccione cant");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("multiplo 5");
    lcd.setCursor(-4, 2);
    lcd.print("Press Ok");
    while (!confirm) {
        lcd.setCursor(-4, 3);
        sprintf(msg, "lote %d ", cant);
        lcd.print(msg);
        if (digitalRead(startButton) == LOW) {
            cant += 5;
            delay(100);
            if (cant > 200) {
                cant = 200;
            }
        }
        if (digitalRead(fillButton) == LOW) {
            cant -= 5;
            delay(100);
            if (cant <= 0) {
                cant = 0;
            }
        }
        if (digitalRead(okButton) == LOW) {
            lote = cant;
            EEPROM.write(eeAddress + 2, lote);
            confirm = true;
            lcd.clear();
        }
    }
}

void confirmar_config() {
    bool confirm = false;
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Confirme la");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("config actual");
}

```

```

    sprintf(msg, "Presentacion: %d", bagSize);
    lcd.setCursor(-4, 2);
    lcd.print(msg);
    sprintf(msg, "Cant Lote: %d  ", lote);
    lcd.setCursor(-4, 3);
    lcd.print(msg);
    while (!confirm) {
        if (digitalRead(okButton) == LOW) {
            confirm = true;
        }
    }
    //resetear pending
    lcd.clear();
    EEPROM.write(eeAddress + 4, lote);
}

void StopFuction() {

    digitalWrite(AgitadorM, LOW);
    digitalWrite(DosificadorM, LOW);
    digitalWrite(ledOn, LOW);
    digitalWrite(ledFill, LOW);
    digitalWrite(ledError, HIGH);
    startFlag = false;
    okFlag = false;
    cleanFlag = true;
    estado = Stop;
}

void digito(float variable) {
    uint16_t Nentero, Ncent, Ndec, Nuni, Ndecimal, Nd1, Nd2;
    Nentero = variable;
    Ncent = Nentero / 100.0;
    Ndec = (Nentero % 100) / 10.0;
    Nuni = (Nentero % 100) % 10;
    Ndecimal = (variable - Nentero) * 100.0;
    Nd1 = Ndecimal / 10.0;
    Nd2 = Ndecimal % 10;
    buff_measure[4] = Ncent;
    buff_measure[3] = Ndec;
    buff_measure[2] = Nuni;
    buff_measure[1] = Nd1;
    buff_measure[0] = Nd2;
}

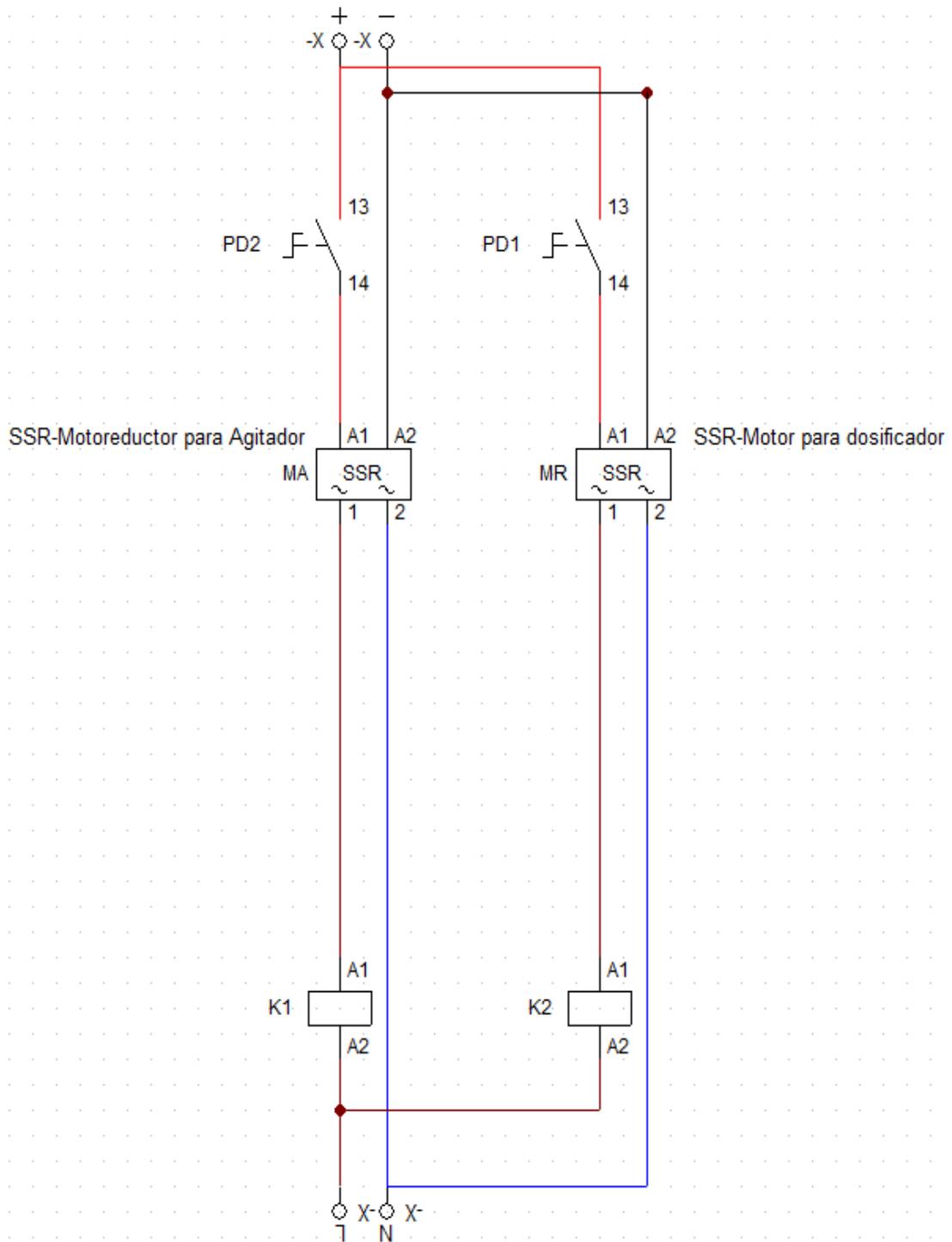
```

D. TABLA DE ASIGNACION DE PINES CON PC_SIMU

Numero de pin	Nombre de pin	Pin Arduino	Descripción	Dirección PC_SIMU
1	PC6	RESET	Botón de reinicio	-----
2	PD0	Digital Pin 0	TX RS232	-----
3	PD1	Digital Pin 1	TX RS232	-----
4	PD2	Digital Pin 2	Botón de STOP	I0.2 Q0.2
5	PD3	Digital Pin 3	Botón de START	I0.3 Q0.3
6	PD4	Digital Pin 4	Botón de Pesado	I0.4 Q0.4
7	VCC	VCC	VDD +5V Alimentación	-----
8	GND	GND	GND	-----
9	PB6	OSC1	Oscilador (Reloj)	-----
10	PB7	OSC2	Oscilador (Reloj)	-----
11	PD5	Digital Pin 5	Botón de Configuración	I0.5 Q0.5
12	PD6	Digital Pin 6	LED Error	I0.6 Q0.6
13	PD7	Digital Pin 7	LED Encendido	I0.7 Q0.7
14	PB0	Digital Pin 8	LED Llenando	I1.0 Q1.0
15	PB1	Digital Pin 9	SSR-Motoreductor para Agitador	I1.1 Q1.1
16	PB2	Digital Pin 10	SSR-Motor para dosificador	I1.2 Q1.2
17	PB3	Digital Pin 11	SDI-SPI	I1.3 Q1.3
18	PB4	Digital Pin 12	SDO-SPI	I1.4 Q1.4
19	PB5	Digital Pin 13	SCK-SPI	I1.5 Q1.5
20	AVCC	AVCC	VDD +5V Alimentación	-----
21	VREF	VREF	N/C	-----
22	GND	GND	GND	-----
23	PD0	Analog input 0	N/C	-----
24	PD1	Analog input 1	N/C	-----
25	PD2	Analog input 2	CS-MicroSD	-----
26	PD3	Analog input 3	CS-ADC	-----
27	PD4	Analog input 4	SDA I2C – Display LCD	-----
28	PD5	Analog input 5	SCL I2C – Display LCD	-----

E. DIAGRAMA DE CIRCUITO DE CONTROL Y CIRCUITO DE POTENCIA

circuito de control



circuito de fuerza

