



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERIA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE
DOSIFICACIÓN MONITOREADO A TRAVÉS DE LA NUBE**

AUTORES:

DÍAZ ROSERO, DAVID ALEJANDRO

VELOZ BOADA, ALEX XAVIER

DIRECTOR:

ING. GÓMEZ REYES, ALEJANDRO PAÚL

SANGOLQUÍ 2019



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “Diseño y construcción de un sistema de dosificación monitoreado a través de la nube” fue realizado por los señores Díaz Rosero, David Alejandro y Veloz Boada, Alex Xavier el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 19 de julio del 2019

Firma:

.....*Alejandro Paúl*.....

Ing. Gómez Reyes, Alejandro Paúl

Director

C. C 1714913637



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Díaz Rosero, David Alejandro y Veloz Boada, Alex Xavier, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “Diseño y construcción de un sistema de dosificación monitoreado a través de la nube” es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 19 de julio del 2019

Firman:



Díaz Rosero, David Alejandro

C. C. 1721907192



Veloz Boada, Alex Xavier

C. C. 172560115-5



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Díaz Rosero, David Alejandro y Veloz Boada, Alex Xavier, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**Diseño y construcción de un sistema de dosificación monitoreado a través de la nube**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

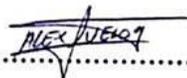
Sangolquí, 19 de julio del 2019

Firman:

.....


Díaz Rosero, David Alejandro

C. C. 1721907192

.....


Veloz Boada, Alex Xavier

C. C. 1725601155

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico principalmente a mi familia, por ser los inspiradores y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener una de mis metas más deseadas.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta donde estoy y convertirme en lo que soy. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser su hijo, son los mejores padres.

A mi hermana por estar siempre presente, acompañándome y por el apoyo moral, que me ha brindaron a lo largo de toda mi vida.

A todos mis compañeros y profesores que me han apoyado y han hecho que esta etapa de mi vida se pueda culminar con éxito.

Díaz Rosero, David Alejandro

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación lo dedico a toda mi familia, en especial a mis padres que pese a los tropiezos de la vida académica siempre estuvieron hay para brindar su apoyo y aliento en momentos difíciles.

A mis abuelitas que, con sus consejos, mantuve un correcto estilo de vida el cual me ayudo a fortalecer mis debilidades y superar los obstáculos.

A mis hermanas como muestra de ejemplo y perseverancia en sus estudios y que pueden lograr alcanzar sus metas propuestas en sus vidas.

Veloz Boada, Alex Xavier

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres: Sonia y Ramiro, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

Agradecemos a nuestros compañeros y profesores dentro de la universidad, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, al ingeniero Alejandro Gómez tutor de nuestro proyecto de investigación y al ingeniero Luis Escobar quien dio su valioso aporte para nuestra investigación.

Díaz Rosero, David Alejandro

AGRADECIMIENTOS

Agradezco el apoyo brindado a nuestro patrocinador Ing. Hernán Zapata, pues gracias a él se pudo concretar este proyecto de investigación.

Agradezco los consejos y sabiduría brindada por nuestro tutor de investigación Ing. Alejandro Gómez y al Ing. Luis Escobar por ser una parte valiosa al momento de escoger nuestro proyecto de investigación.

Agradezco principalmente a mis padres César Veloz y Alexandra Boada quienes son mi modelo para seguir, brindándome siempre su apoyo y confianza para alcanzar mis metas propuestas.

Agradezco a mis profesores, compañeros y familiares quienes fueron pilares para nuestro desarrollo académico y humano.

Veloz Boada, Alex Xavier

INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRACECIMIENTOS	vi
AGRACECIMIENTOS	vii
INDICE DE CONTENIDOS	viii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPITULO 1	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	3
1.4 ÁREA DE INFLUENCIA	4
1.5 OBJETIVOS	5
1.5.1 OBJETIVO GENERAL	5
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.6 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	5
CAPITULO 2	6
2.1 Sistemas de Dosificación	6
2.2.1 Dosificador Volumétrico	7
2.2.2 Dosificador por Tornillo Sin Fin	7
2.2.3 Dosificador por Peso	8
2.2 Industria 4.0	9
2.3 Monitoreo mediante una Arquitectura IoT	10
2.3.1 Internet de Cosas (IoT)	10
2.3.2 Arquitectura basada en IoT	11
2.3.3 Node-RED	19
2.4 Monitorización en la Nube aplicada a la industria	21
CAPITULO 3	23
3.1 Subsistema Mecánico	23

3.1.1	Análisis y Selección de Alternativas del Subsistema Mecánico	23
2.	Diseño de Sistema de Dosificación por Peso.....	26
3.1.3	Análisis de Bastidor de Dosificador	53
3.1.4	Sistema de Distribución Neumática	58
3.2	Subsistema Electrónico	60
3.2.1	Acondicionamiento de la señal	60
3.2.2	Diseño de Circuito de Acondicionamiento	62
3.3	Subsistema Control	68
3.3.1	Sistema Eléctrico	68
3.3.2	Controlador Lógico Programable.....	73
3.3.3	Interfaz gráfica (HMI-Dashboard)	78
3.4	Subsistema de Comunicación	80
3.4.1	Diseño de Arquitectura para Monitoreo mediante la Nube	80
3.5	Implementación	86
3.5.1	Implementación de la estructura.	86
3.5.2	Implementación de los actuadores y mecanismo de movimiento.....	87
3.5.3	Implementación de Sistema de Electrónico.....	87
3.5.3	Implementación de Sistema de Control.....	88
3.5.4	Implementación del sistema de Eléctrico	94
3.5.5	Implementación Comunicación IoT	95
CAPÍTULO 4	100
4.1	Pruebas y resultados del prototipo.	100
4.2	Pruebas y resultados del sistema de comunicación (monitoreo)	103
4.2.1	Tiempo de Conexión a la Red.....	103
4.2.2	Costo Computacional	103
4.3	Conclusiones y Recomendaciones	107
4.3.1	Conclusiones.....	107
4.3.2	Recomendaciones.....	107
BIBLIOGRAFÍA	109

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Dosificador Volumétrico	7
<i>Figura 2</i> Dosificador de Tornillo.....	8
<i>Figura 3</i> Dosificador por Peso.....	8
<i>Figura 4</i> Esquema de Industria Inteligente.....	9
<i>Figura 5</i> Estructura basada en IoT	10
<i>Figura 6</i> Estructura General de una Arquitectura IoT.....	13
<i>Figura 7</i> Grafico de tendencia de crecimiento de.....	14
<i>Figura 8</i> Modelos de Servicio en Cloud Computing.....	18
<i>Figura 9</i> Lógica de Programación de Node-RED	20
<i>Figura 10</i> Esquema General del Dosificación por Peso.....	26
<i>Figura 11</i> Dimensionamiento de Tolva de Alimentación	27
<i>Figura 12</i> Obtención experimental de densidad de producto.....	29
<i>Figura 13</i> Esquema de soporte para tolva de alimentación.....	32
<i>Figura 14</i> Constante K según tipo de apoyo	33
<i>Figura 15</i> Simulación de carga al soporte para tolva de alimentación.....	35
<i>Figura 16</i> Curva de Convergencia de soporte de tolva de alimentación.....	35
<i>Figura 17</i> Esquema de soporte para canal de alimentación	40
<i>Figura 18</i> Tipos de Desalineamientos en Ejes	46
<i>Figura 19</i> Disco flexible para soporte de canales vibratorios	48
<i>Figura 20</i> Esquema de Canal Vibratorio de Transporte.....	48

Figura 21 Dimensionamiento de Tolva de Dosificación.....	50
Figura 22 Bastidor para Sistema de Dosificación	53
Figura 23 Simulación de Carga al Bastidor para Canal de Alimentación.....	54
Figura 24 Curva de Convergencia de Bastidor del Canal Vibratorio de Alimentación.....	55
Figura 25 Simulación de Carga al Bastidor para Canales Vibratorios de Transporte	56
Figura 26 Curva de Convergencia de Bastidor de Canal Vibratorio de Transporte	56
Figura 27 Simulación de Carga al Bastidor para Tolvas de Dosificación	57
Figura 28 Curva de Convergencia de Bastidor para Tolvas de Dosificación	58
Figura 29 Diagrama de Distribución Neumática de Máquina Empacadora	58
Figura 30 Celda de Carga de 3Kg	61
Figura 31 Esquema Circuito de Acondicionamiento Para Celda de Carga	64
Figura 32 Aplicación de Filtro de Media Móvil	67
Figura 33 Resultados de la aplicación del filtro de media móvil.....	68
Figura 34 Esquema Eléctrico de Potencia de Empacadora	69
Figura 35 Esquema Eléctrico de Control de Empacadora	70
Figura 36 Esquema Eléctrico de Control de Empacadora – PLC	72
Figura 37 Graficet simplificado de Lógica de control del proceso	78
Figura 38 Esquema General de un Proceso de Fabricación.....	86
Figura 39 Montaje de pistones en Canal y Tolva de Dosificación	87
Figura 40 Diseño de PCB de Circuito de Acondicionamiento	88
Figura 41 Esquema de Armario Eléctrico	89

Figura 42 Programación de Encendido y Paro de Emergencia.....	90
Figura 43 Programación de Estados Generales.....	90
Figura 44 Programación de Estados de los Actuadores	91
Figura 45 Programación de Configuración de Peso de las Fundas	91
Figura 46 Programación de Envío de Producción a la Base de Datos	91
Figura 47 Programación de Grupo Mantenimiento	92
Figura 48 Programación de para recibimiento de Variables del proceso.....	92
Figura 49 Programación de para Creación de diferentes tablas dentro de la Base de Datos	93
Figura 50 Programación de para Inserción de datos en las tablas dentro de la Base de Datos	93
Figura 51 Programación de manejo de datos en las diferentes tablas dentro de la Base de Datos	94
Figura 52 Distribución de elementos en el Panel Eléctrico	94
Figura 53 Esquema de Conexión de Comunicación	95
Figura 54 Configuración GET/PUT para PLC Siemens	96
Figura 55 Configuración Optimización de Bloque de Datos	96
Figura 56 Programación por bloques en node-red de HMI local.....	97
Figura 57 Ilustración de Estructura del Droplet.....	98
Figura 58 Programación por bloques en node-red de Dashboard	99
Figura 59 Toma de pesos para ponderación de error	102
Figura 60 Evaluación de tiempos de conexión	103
Figura 61 Evaluación ancho de banda y consumo CPU	104

Figura 62 HMI local.....105

Figura 63 HMI-nube (Dashboard)107

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Requerimientos o necesidades del consumidor</i>	2
Tabla 2 <i>Requerimientos Técnicos</i>	3
Tabla 3 <i>Tipos de dosificación de productos</i>	6
Tabla 4 <i>Redes Inalámbricas</i>	14
Tabla 5 <i>Protocolos para IoT</i>	16
Tabla 6 <i>Definiciones de los Modelos de Servicio en Cloud Computing</i>	18
Tabla 7 <i>Alternativas Sistema de Dosificación</i>	24
Tabla 8 <i>Toma de medidas de masas de producto</i>	28
Tabla 9 <i>Alternativas Actuator para Canal Vibratorio</i>	36
Tabla 10 <i>Parámetros de Resorte según el tipo de extremos</i>	43
Tabla 11 <i>Parámetros de Resorte según el tipo de extremos</i>	44
Tabla 12 <i>Resultado de Interacciones con diámetros estándar para cálculo de resorte</i>	45
Tabla 13 <i>Características de Varios Tipos de Acoplamientos</i>	46
Tabla 14 <i>Alternativas de Acondicionamiento de Señal</i>	61
Tabla 15 <i>Tabla de Descripción de Elementos Eléctricos</i>	73
Tabla 16 <i>Tabla de Variables de PLC</i>	74
Tabla 17 <i>Definición de variables para HMI local</i>	79
Tabla 18 <i>Definición de variables para Dashboard</i>	80
Tabla 19 <i>Alternativas para Gateway de comunicación</i>	81
Tabla 20 <i>Pruebas de Producción</i>	100

Tabla 21 *Calculo de Error Absoluto*101

RESUMEN

En el mundo globalizado de la tecnología la industria no se queda afuera, cada vez es más común el encontrar maquinaria con un mayor grado de tecnología. Para ello, las máquinas requieren de una supervisión constante y en todo lugar; constituyendo al internet en un medio que facilite el intercambio de información para corregir de manera oportuna cualquier anomalía presente en un proceso. Para ello se presenta el siguiente proyecto de investigación cuyo objetivo es la vinculación de una máquina de embazado de alimentos mediante sistemas IoT, para cumplir con las tendencias de la nueva industria 4.0 que busca el fortalecimiento de sistemas ciber-físicos en la que la interacción humano-máquina sea en tiempo real gracias a las redes inalámbricas. Los sistemas de dosificación permiten crear un proceso de producción más eficientes gracias a la ayuda del IoT, para esto nos ayudamos del protocolo MQTT que es uno de los mejores para este tipo de arquitecturas. Su distribución y escalabilidad son muy buenas al poseer un servidor llamado bróker que gestionaras la unión y procesamiento de los dispositivos que se conecten al servidor, y gracias a su sistema de encriptación e identificación propias del protocolo lo que lo hace con una alta interacción con el usuario y seguro para la transmisión y reenvió de datos.

Palabras claves

- **MAQUINAS DOSIFICADORAS**
- **MQTT**
- **INDUSTRIA 4.0**
- **ARQUITECTURA IoT**

ABSTRACT

In the globalized world of technology, industry does not remain outside, it is increasingly common to find machinery with a greater harmony and interveinal degree of technology. In order to accomplish it, the machines require constant supervision communication; constituting the internet in a medium that facilitates the exchange of information to correct in a timely manner any anomaly present in a process. To this end, the following research project is has as principal objective the linking of a food embedding machine through IoT protocols, to comply with the trends of the new 4.0 industry that seeks to strengthen cyber-physical systems in which the human-machine interaction is in real time thanks to wireless networks. The dosing systems allow us to create a more efficient production process using a MQTT protocol, which is one of the standard undo wildly accepted for this type of architecture. Its distribution and scalability are one of its strength to have a server called broker that manage the union and processing of the devices connected, and thanks to its own encryption and identification system the protocol has a high interaction with the user and assurance for the transmission, forwarding of data and security of the system.

Keywords

- **DOSING MACHINE**
- **MQTT**
- **INDUSTRY 4.0**
- **IoT ARCHITECTURE**

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Actualmente las máquinas para el sector alimenticio han evolucionado enormemente, aumentando en su autonomía, como en su capacidad de producción.

Las máquinas empacadoras tienen una función primordial dentro de la línea de producción dependiendo de su capacidad y desempeño, cuya finalidad es la de entregar el producto final al consumidor.

Con el avance de las tecnologías dentro del ámbito industrial, cada vez apuntando más a que las máquinas empacadoras sean más autónomas y con un mayor control, sin embargo, conservando el mismo principio de dosificación y sellado fundamental que cumple toda empacadora. Con las nuevas tendencias de la industria 4.0, la mejoría en los instrumentos y monitorización, que usan para llevar a cabo dichas funciones con una mayor eficiencia; reduciendo tiempos de producción y obteniendo un mayor control sobre el proceso.

El uso y desarrollo de la tecnología referente a la industria 4.0 ha permitido que las máquinas brinden un mejor trabajo y alta eficiencia en el uso de recursos y buena ergonomía, además de la integración de una mayor interacción entre la máquina y el usuario a través de las tecnologías de comunicación conectadas a la nube, pudiendo esta interactuar con mayor facilidad con la maquinaria.

Como consecuencia se quiere un aumento en la productividad de la industria alimenticia, alcanzando los objetivos y metas de cada una de las empresas que participan en este ámbito industrial. Por tal motivo el presente trabajo contiene una idea innovadora que permita realizar el diseño de un sistema dosificación por peso, mediante la implementación un sistema de doble

cabezal para la dosificación del producto mediante el pesaje. Dichos cabezales serán alimentados por dos niveles de dosificación mediante vibración, siendo el primer nivel el que distribuya el producto a sistemas independientes de dosificación mediante una bifurcación, el segundo nivel consta de dos sistemas de vibración que alimentarán a cada uno de los cabezales de pesaje. Con esto se consigue mejorar el tiempo de empaquetado ya que, al poseer solo un cabezal, se crearía un cuello de botella; en tanto que al tener dos cabezales de pesaje siempre puede haber uno en espera a ser empaquetado. También este estará enlazado con un HMI en la nube mediante una herramienta de programación para conectar dispositivos hardware y servicios en línea.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Se cuenta con una máquina empacadora de snacks en desuso e incompleta para lo cual se requiere la implementación de un sistema de dosificación por peso para que esté totalmente operativa. Se parte de la necesidad planteada por el cliente y resumida en la tabla 1.

Tabla 1

Requerimientos o necesidades del consumidor

No.	Requerimiento
1	Dosificación del producto precisa
2	Modificación de la cantidad de producto
3	Resistente a factores externos
4	Debe ser económico y eficiente
5	Monitoreo local y remoto
7	Fácil Mantenimiento

Una vez identificadas las necesidades del cliente, se definen las especificaciones técnicas correspondientes a cada una de ellas. En la tabla 2 se encuentran las especificaciones técnicas obtenidas a partir de las necesidades planteadas.

Tabla 2*Requerimientos Técnicos*

No.	Requerimiento
1	Precisión: $\pm 5g$ Repetitividad: ± 0.5
2	Variabilidad de peso: 10g-120g
3	Vibración: 60Hz
4	Costo: \$800-\$1300
5	Velocidad de comunicación Red LAN: 10 MB/s
7	Tiempo: 2 Horas

Por consecuencia la empresa APOCALISIS SOLUTIONS CIA. LTDA. requiere la reimplantación de la empacadora a la línea productiva con el sistema de dosificación y la implementación de monitoreo remoto a través de la nube para la iniciación de la nueva línea de producción de snacks.

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Debido al aumento de emprendimientos en el ámbito del sector industrial alimenticio, se observa la necesidad de la creación de pequeñas y medianas empresas. El efecto de esto se refleja en el aumento de líneas de producción e incorporación de maquinaria, con un mayor nivel de automatización para alcanzar estándares de calidad que el mercado actual demanda para satisfacer las necesidades de los clientes.

Máquinas automatizadas que llevan un control estricto en proporciones, niveles, cantidades y dimensiones para la elaboración de un determinado producto. Son indispensables hoy en día, debido que, al poseer un mayor grado de control y monitoreo, pueden estos ser calibrados acorde al tipo de producción que se requiera; ayudando así a la empresa y al cliente en poseer un producto de excelente calidad.

APOCALIPSIS CIA. LTDA. con el fin de emprender una nueva competencia en la elaboración de snacks, desea mejorar su producción, llevar un monitoreo de su producto y verificar que el mismo se elabore bajo estándares de calidad correspondientes en el manejo de

alimentos; decide renovar una empacadora semi-automatizada de Snacks, incorporando un sistema de dosificación por peso de doble cabezal, para integrar la maquinaria en su línea de producción; esperando así elevar el nivel de productividad y estar a la altura del mercado demandante actual.

El sistema de dosificación por peso se implementará en la parte superior de la empacadora, el cual censará la cantidad que transportará cada unidad con el menor fallo en las proporciones del producto. Además, constará de un medio de monitoreo mediante las nuevas corrientes tecnológicas como es la industria 4.0 con comunicación con estándares de comunicación IoT (Internet Of Things). Finalmente, después de la dosificación llegará al empaçado, sellado y corte; obteniéndose así el producto final para el consumidor.

1.4 ÁREA DE INFLUENCIA

APOCALIPSIS SOLUTIONS CIA. LTDA. desea implementar una nueva línea de producción en lo que se refiere a snacks, en consecuencia, mediante la inversión en el presente proyecto se desea obtener un máximo rendimiento en la producción, mejorando los estándares de calidad del producto como son cantidad, presentación, elaboración del mismo.

El diseño del dosificador esta direccionado en la reducción de errores que se puedan presentar en la medición de cantidades por unidad de producto, mediante un monitoreo continuo y remoto que conlleve al máximo potencial de producción de la empacadora, y así, cumplir con los requisitos necesarios para la producción demanda por APOCALIPSIS SOLUTIONS CIA. LTDA.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema de dosificación de snacks mediante un HMI para monitoreo a través de la nube.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un sistema de dosificación por peso que cumpla con los requerimientos de producción de la empresa.
- Implementar un HMI utilizando node-red para control local y remoto en la nube que facilite el monitoreo de la máquina.
- Obtener un máximo rendimiento en la producción de snacks, minimizando los errores en las mediciones de peso por producto.

1.6 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

El presente proyecto consta de 4 capítulos, donde, el Capítulo 1 describe una breve reseña a las nuevas tendencias dentro de la industria y como estas influyen dentro de las misma, también presenta la identificación de la problemática que vive actualmente la empresa dando paso a la justificación e importancia que tiene la realización del proyecto, para alcanzar los objetivos propuesto del proyecto.

El Capítulo 2 expone el fundamento teórico que es necesario dentro de la elaboración del proyecto, entre los que se puede mencionar sistemas de dosificación, industria 4.0, arquitectura IoT, herramientas disponibles para comunicación IoT, y la comunicación IoT aplicado en la industria.

El Capítulo 3 menciona el diseño de cada subsistema que compone este proyecto como son el dosificador, la comunicación IoT y su integración mediante un HMI, y su respectiva implementación.

Finalmente, en el Capítulo 4 se describe las pruebas realizadas y los resultados obtenidos producto de la experimentación, medición de variables de producción para poder dar un resultado concreto del rendimiento y desempeño de la productividad de la empacadora.

CAPITULO 2

MARCO TEORICO

2.1 Sistemas de Dosificación

Los sistemas de dosificación son los encargados de suministrar de manera autónoma, uniforme y precisa una cantidad de producto. Para la adecuada selección de un dosificador se debe tomar en cuenta las características de la sustancia como su textura, composición, tamaño y forma. (Garcia, 2014)

En la tabla 1 se indica los diferentes métodos, mecanismos de alimentación y producto a dosificarse según el tipo de dosificación que se requiera.

Tabla 3

Tipos de dosificación de productos

Tipo	Método	Mecanismo	Producto para dosificarse
Volumétrico	-Por pistón	-Por compuerta rotativa	-granos
	-Tornillo son fin	-Por gravedad	-polvos
	-Vasos telescópicos giratorios		
Por peso	-Tolva de pesaje	-Por cinta transportadora	-snacks
	-Multicabezal	-Por canal vibrante	-granos
			-polvos

Fuente: (Aguirre A., 2018)

2.2.1 Dosificador Volumétrico

Este sistema consta de cámaras de acero inoxidable y de capacidad regulable ubicados en un disco giratorio como se observa en la figura 1, los cuales contendrán la cantidad aproximada de producto a empaçar.

Estas cámaras son alimentadas desde una tolva de alimentación donde se retiene el producto y posteriormente se realiza la descarga por gravedad o por algún tipo de accionamiento.

La cantidad de vasos y la velocidad del disco, depende de la cantidad de producción que se quiere alcanzar. Es muy recomendable para procesos con polvos de fácil deslizamiento y granos. (Aguirre A., 2018)

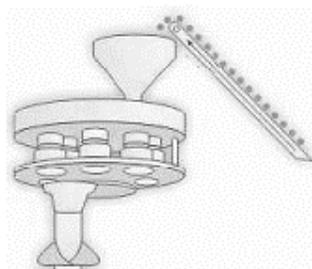


Figura 1 Dosificador Volumétrico

Fuente: (Moreno Z., 2010)

2.2.2 Dosificador por Tornillo Sin Fin

Este dosificador se compone de un tornillo sin fin; como se observa en la figura 2, el cual, es el encargado de la dosificación y un removedor de giro independiente que expulsa la cantidad de producto necesaria y evitar aglomeraciones.

Este tornillo se encuentra acoplado a un sistema de reducción de velocidad ya sea por engranes o bandas y a su vez por un motor para controlar su velocidad de giro. Este método es

usado comúnmente para la dosificación de productos en polvo de difícil desplazamiento como condimentos, harina, sal, etc. (Aguirre A., 2018)

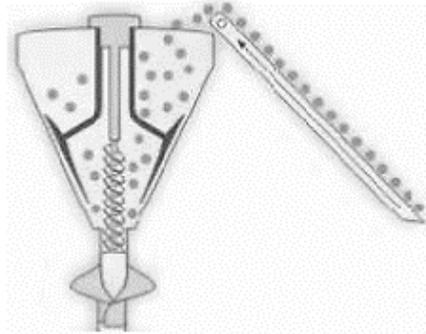


Figura 2 Dosificador de Tornillo

Fuente: (Moreno Z., 2010)

2.2.3 Dosificador por Peso

Este dosificador comprende de un método de alimentación de producto de forma vibratoria, lo que evita el deterioro del mismo, luego como se puede observar en la figura 3 las celdas de carga se encargan de censar el peso del producto, pudiendo realizar dosificaciones de alta precisión con un margen de error aproximado de +/- 5%. (Aguirre A., 2018)

Este dosificador se lo puede encontrar en configuraciones de varios cabezales dependiendo de la rapidez de empaclado que se disponga para el resto del proceso. Este dosificador es ideal para trabajar con cualquier producto sólido, polvo o snack de formas irregulares.

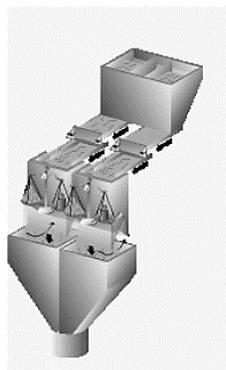


Figura 3 Dosificador por Peso

Fuente: (Moreno Z., 2010)

2.2 Industria 4.0

Con la necesidad de implementar nuevas tecnologías que se alinean con la expectativa de las nuevas tendencias para mantener su competitividad, algunos de los requisitos principales de hacer que sus plantas más inteligentes y comunicativas de manera inalámbrica; aumentando así su productividad y eficiencia.

Actualmente el concepto de la Industria 4.0 presenta lo que se ha denominado la “fábrica inteligente”, en el que los sistemas ciber-físicos monitorean los procesos físicos de la fábrica y tomar decisiones descentralizadas. (Dol. & Bhinge, 2018)

Los sistemas físicos como máquinas, equipos y se convierten en equipos especializados capaces de lograr operaciones de la comunicación y la cooperación tanto entre sí y con los seres humanos en tiempo real a través de redes inalámbrica y con conectividad a servicios en la nube.

En la Figura 4 se representa un posible sistema de automatización y control distribuido en una factoría de la Industria 4.0. Diversos controladores conectados entre sí mediante una red de tiempo real, y a la vez conectados a la Web. (C. Catalán, 2015)

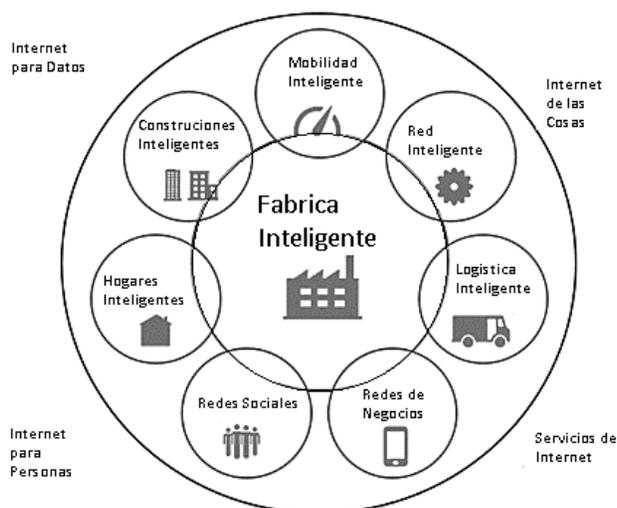


Figura 4 Esquema de Industria Inteligente

Fuente: (Iyer, 2017)

Cada vez con la globalización de la Industria 4.0 traerá consigo un cambio que implica toda la cadena de valor de una industria, desde el diseño hasta el servicio post-venta, mediante la optimización de los procesos de elaboración del producto a través de la integración entre los procesos y la extracción de información de estos.

Todo esto conducirá a una mayor productividad, lo que promoverá el crecimiento industrial y cambiará el perfil de la fuerza de trabajo, cambiando sustancialmente el panorama competitivo de empresas y países. (Contigiani, Pollini, Sturari, Mancini, & Frontoni, 2017)

2.3 Monitoreo mediante una Arquitectura IoT

2.3.1 Internet de Cosas (IoT)

Internet de cosas (IoT) puede ser visto como un sistema en red dinámica y altamente distribuido que consiste en un gran número de objetos inteligentes que generan y consumen información. La interacción con el mundo físico a través de estos dispositivos inteligentes puede ocurrir tanto de forma pasiva, mediante la realización de operaciones de detección, y / o activamente, por las acciones escénicas. (Contigiani, Pollini, Sturari, Mancini, & Frontoni, 2017)



Figura 5 Estructura basada en IoT

Fuente: (Sophimania, 2017)

Esta novedosa tendencia crece rápidamente, cada vez en el ámbito de las telecomunicaciones modernas. Este nuevo desafío es posible por la introducción de tecnologías

de red inalámbrica y RFID, donde bases de datos y sistemas de información están fijadas en un medio virtual, es decir, se basan en un modelo de servicio basado en la nube en donde se lleva a cabo decisiones lógicas en servidores remotos, que almacenan la información pública y privada.

2.3.2 Arquitectura basada en IoT

Su arquitectura está estructurada de tal manera que los dispositivos puedan transmitir datos a través de la red. Que se deriva de las últimas tendencias de la investigación sobre la industria 4.0. A través de la sinergia de diferentes tecnologías, que tiene como objetivo hacer la producción industrial totalmente automatizada e interconectada. Este nuevo paradigma se divide en varios lineamientos a los cuales estas tecnologías de apoyo apuntan como son:

1. El fabricante de soluciones avanzadas garantiza una interconexión eficaz entre las máquinas.
2. La fabricación aditiva permite la conexión entre los dispositivos digitales y desarrollo de software.
3. La simulación permite la optimización de las pruebas de máquina en tiempo real.
4. Integración horizontal / vertical asegura la integración de datos y sistemas a través de la cadena de valor.
5. La nube gestiona y almacena los datos en la red.
6. Ciber-seguridad protege los sistemas y la red de amenazas potenciales;
7. El análisis del Big Data permite la recogida y el análisis de un gran número de datos de diferentes fuentes para apoyar la toma de decisiones.

En la arquitectura de un sistema basado en IoT su gestión se confía a un sistema de cyber-físico en la nube que proporciona una infraestructura virtual capaz de almacenar, monitorizar, analizar, procesar y visualizar datos. Por consecuencia, el cloud computing evita los costes de

infraestructura física cara para las industrias y clientes, que pueden acceder a al servicio o proceso que este demande en cualquier partes y momento.

Por otra parte, el cloud computing cuenta con una gran cantidad de ventajas como son: procesamiento de cálculo, escalabilidad y accesibilidad. Los dispositivos IoT utilizan principalmente protocolos estándar de Internet para la comunicación y transmisión de datos a los consumidores y servicios en la nube.

Los enfoques actuales en la literatura se basan principalmente en la supervisión basada en datos, el aprovechamiento de grandes volúmenes de datos e IoT (Internet of Things) para el diagnóstico y el control. Como tal, que cumplan con los requisitos de sistema industrial moderno: infraestructuras más flexibles con la capacidad para llevar a cabo el intercambio efectivo de información están diseñados para mejorar la fiabilidad y escalabilidad de los entornos industriales complejos. (Contigiani, Pollini, Sturari, Mancini, & Frontoni, 2017)

En la figura 6 se describe un ejemplo de una arquitectura IoT en donde se puede observar los diferentes dispositivos y protocolos. Se puede denotar que el dispositivo PLC al no poseer un protocolo común al cual comunicarse es necesario de un intermediario el cual comunique y transforme la información del protocolo OPC a un protocolo entendible para a la arquitectura IoT.

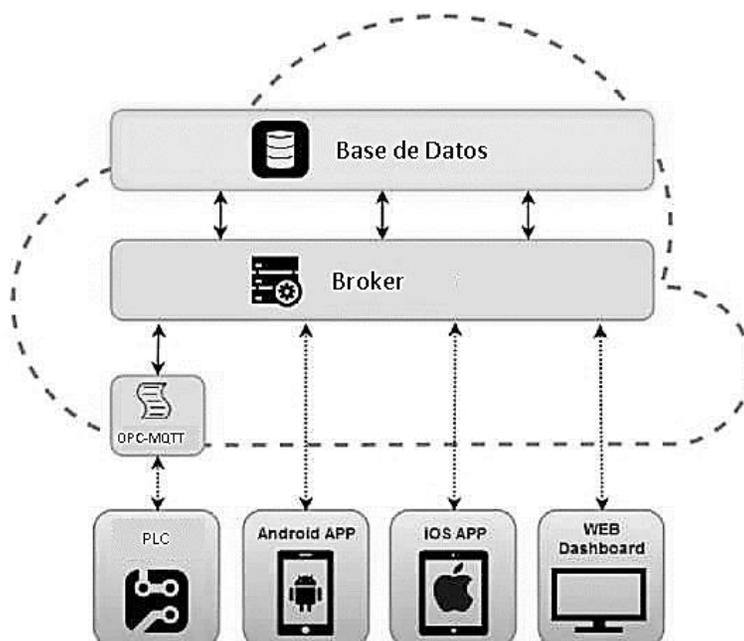


Figura 6 Estructura General de una Arquitectura IoT
Fuente: (Contigiani, Pollini, Sturari, Mancini, & Frontoni, 2017)

A continuación, se describe los componentes que debe poseer estos sistemas para cumplir con el propósito de conectarse en una red.

A. Dispositivos

Los dispositivos IoT pueden ser cualquier dispositivo el único requisito que este debe cumplir es ser capaces de conectarse a la nube sobre la que se está desarrollando la arquitectura.

Actualmente se conoce que solo el 0.06% de objetos están conectados entre sí. Cisco afirma que para el 2020 proyecta que 50 billones de equipos ya estén conectados a la red para lo cual se invertirán 19 trillones de dólares en IoT.

En la figura 7 se observa como la cantidad de cosas conectadas a Internet superó a la población humana. La tasa de adaptación de la IoT tiende a ser al menos cinco veces más rápida que la admisión de la electricidad y la telefonía.

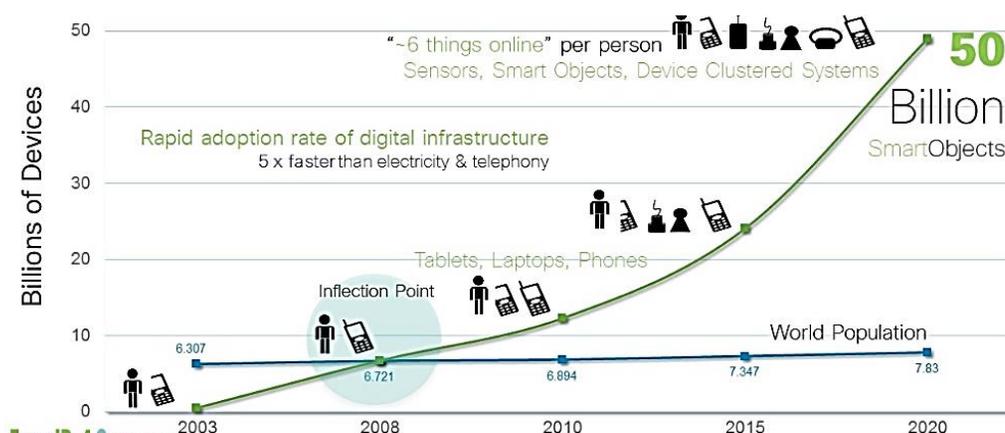


Figura 7 Grafico de tendencia de crecimiento de dispositivos en relación con la población humana
Fuente: (Cisco, 2010)

Siguiendo el paradigma de las redes sociales, redes sociales permitirían el intercambio de dispositivos entre los usuarios que proporcionen información útil capturada por dispositivos sensores o dando maneras de hacer acciones a distancia en los dispositivos de usuario. (Benazzouz, Munilla, Gunalp, Gallissot, & Gurgun, 2014)

B. Redes Inalámbricas

Las redes inalámbricas dentro del campo de IoT no son más que el medio de comunicación que usa esta arquitectura para enlazarse con la nube u otros dispositivos. A continuación, se detallan los estándares para redes inalámbricas más comunes en el uso de arquitectura IoT descritos en la tabla 4.

Tabla 4
Redes Inalámbricas

Red	Características	Especificaciones
 ZigBee	<p>Es una tecnología inalámbrica más centrada en aplicaciones domóticas e industriales.</p> <p>La tecnología Zigbee se basan en el protocolo IEEE 802.15.4, una tecnología de red inalámbrica que opera a 2,4GHz en aplicaciones que requieren comunicaciones con baja tasa de envío de datos dentro de áreas delimitadas con un alcance de 100 metros, como viviendas o edificios.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estándar: ZigBee 3.0 basado en IEEE 802.15.4 • Frecuencia: 2.4GHz • Alcance: 10-100m • Velocidad de transferencia: 250kbps

	<p>Actualmente, el standard WiFi más habitual utilizado en los hogares y en muchas empresas es el 802.11n, ofreciendo un rendimiento significativo en un rango de cientos de megabits por segundo, muy adecuado para la transferencia de archivos, pero que consume demasiada potencia para desarrollar aplicaciones IoT.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estándar: Basado en 802.11n • Frecuencia: 2,4GHz y 5GHz • Alcance: Aproximadamente 50m • Velocidad de transferencia: hasta 600 Mbps, pero lo habitual es 150-200Mbps
	<p>Bluetooth es una de las tecnologías de transmisión de datos de corto alcance más establecidas, ya que permitirá el establecimiento de conexiones IoT, probablemente a través de un smartphone.</p> <p>El nuevo Bluetooth de baja energía, también conocido como Bluetooth LE o Bluetooth Smart, es similar al de la tecnología Bluetooth normal, pero con un consumo de energía significativamente reducido.</p> <p>Los dispositivos que utilizan Bluetooth Smart incorporan el núcleo de Bluetooth en su versión 4.0 (o superior – la última versión de finales de 2014 es la 4.2) que combina transmisión de datos básicos con una configuración de bajo consumo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estándar: Bluetooth 4.2 • Frecuencia: 2,4GHz (ISM) • Alcance: 50-150m (Smart/LE) • Velocidad de transferencia: 1Mbps (Smart/LE)
<p>Telefonía Móvil</p> 	<p>Cualquier aplicación IoT que necesite funcionar en grandes áreas puede beneficiarse de las ventajas de la comunicación móvil GSM/3G/4G.</p> <p>La red de telefonía móvil es capaz de enviar grandes cantidades de datos, especialmente a través de 4G, aunque el consumo de energía y el coste económico de la conexión podrían ser demasiado altos para muchas aplicaciones.</p> <p>Sin embargo, puede ser ideal para proyectos que integren sensores y que no requieran un ancho de banda muy grande para enviar datos por Internet.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estándares: GSM/GPRS/EDGE (2G), UMTS/HSPA (3G), LTE (4G) • Frecuencias: 900 / 1800 / 1900 / 2100 • Alcance: hasta 35km para GSM; hasta 200km para HSPA • Velocidad de transferencia (descarga habitual): 35-170kps (GPRS), 120-384kbps (EDGE), 384Kbps-2Mbps (UMTS), 600kbps-10Mbps (HSPA), 3-10Mbps (LTE)
	<p>6LoWPAN (IPv6 Low-power wireless Personal Area Network) es una tecnología inalámbrica basada en IP muy importante. En vez de tratarse de una tecnología de protocolos de aplicaciones IoT.</p> <p>Es un protocolo de red que permite mecanismos de encapsulado y compresión de cabeceras. Esta tecnología ofrece libertad de banda de frecuencia y capa física, por lo que se puede utilizar a través de múltiples plataformas de comunicaciones. También implementar protocolos superiores como TCP, UDP, HTTP, COAP, MQTT y websockets</p> <p>Ha sido diseñada especialmente para el hogar y la automatización de edificios proporcionando un mecanismo de transporte básico para producir sistemas de control complejos e interconexión de dispositivos de un modo económico a través de una red inalámbrica de bajo consumo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estándar: RFC6282 • Frecuencia: adaptable a múltiples capas físicas como Bluetooth Smart (2.4GHz), ZigBee o comunicación RF de bajo consumo (sub-1GHz) • Alcance: N/A • Velocidad de transferencia: N/A
	<p>LoRaWAN está diseñada para implementar redes de área amplia (WAN) con características específicas para soportar comunicaciones móviles, bidireccionales, económicas y seguras para aplicaciones de IoT, M2M, ciudades inteligentes y aplicaciones industriales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estándar: LoRaWAN • Frecuencia: Varias • Alcance: 2-5km (entorno urbano), 15km (entorno rural) • Velocidad de transferencia: 0,3-50

	Optimizada para bajo consumo de energía y para ofrecer amplias redes con millones y millones de dispositivos, sus velocidades de transferencia de datos van desde 0,3 kbps hasta 50 kbps.	kbps.
	<p>Z-Wave es una tecnología RF de bajo consumo diseñada inicialmente para productos de domótica como controladores de iluminación y sensores. Optimizado para la comunicación fiable de baja latencia de pequeños paquetes de datos y es robusta frente a interferencias de Wi-Fi y otras tecnologías inalámbricas.</p> <p>Z-Wave utiliza un protocolo más simple que otras tecnologías lo que permite una mayor rapidez en el desarrollo, pero el único fabricante de chips compatibles es la empresa Sigma Design, en comparación con la multitud de empresas que ofrecen productos de otras tecnologías inalámbricas como ZigBee o Bluetooth.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estándar: Z-Wave Alliance ZAD12837 / ITU-T G.9959 • Frecuencia: 900MHz (Banda ISM) • Alcance: 30m • Velocidad de transferencia: 9,6/40/100kbit/s
	<p>Sigfox utiliza bandas ISM, que se pueden utilizar sin necesidad de adquirir licencias.</p> <p>Sigfox responde a las necesidades de muchas aplicaciones M2M que funcionan con una batería pequeña y solo requieren niveles menores de transferencia de datos.</p> <p>Solo consume 50 microvatios (la comunicación móvil consume 5.000 microvatios) además de poder mantenerse en stand-by 20 años con una batería 2.5Ah.</p> <p>Esta tecnología es robusta, energéticamente eficiente y funciona como una red escalable que puede comunicarse con millones de dispositivos móviles a lo largo de muchos kilómetros cuadrados. Así pues, es adecuada para aplicaciones M2M como: contadores inteligentes, monitores médicos, dispositivos de seguridad, alumbrado público y sensores ambientales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estándar: Sigfox • Frecuencia: 900MHz • Alcance: 30-50km (ambientes rurales), 3-10km (ambientes urbanos) • Velocidad de transferencia: 10-1000bps

Fuente: (RS-Components, 2016)

C. Protocolos

Existen varios protocolos para la interoperabilidad dentro de una arquitectura IoT. Los protocolos permiten la conexión entre los dispositivos para que intercambien información. En la tabla 5 se mencionan los protocolos más comunes desarrollados para campo de IoT.

Tabla 5
Protocolos para IoT

Protocolo	Características
-----------	-----------------



OPC UA (Unified Architecture, 'arquitectura unificada') es el estándar de nueva generación que le sigue a OPC Foundation. OPC clásico es bien conocido en la industria y provee una interfaz estándar para comunicarse con los PLC (Programmable Logic Controller, 'controlador lógico programable'). OPC UA pretende expandir la compatibilidad de OPC al nivel de los dispositivos y de las empresas. OPC UA es un protocolo cliente/servidor. Los clientes se conectan, navegan, leen y escriben al equipamiento industrial. UA define la comunicación desde la aplicación hacia la capa de transporte.

También es muy seguro, y usa mensajes bidireccionales firmados y encriptación de transporte. OPC UA tiene una amplia base instalada en el mundo industrial. Es una buena solución para conectar información de sensores y PLC en aplicaciones industriales ya existentes como sistemas MES (Manufacturing Execution System, 'sistema de ejecución de manufactura') y SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition, 'supervisión, control y adquisición de datos'), en donde la conectividad OPC y OPC UA ya estén disponibles.

HTTP (Hypertext Transfer Protocol, 'protocolo de transferencia de hipertexto') es un protocolo cliente/servidor sin conexión ubicuo en TIC y en la web. Dado que existen incontables herramientas de código abierto que usan HTTP, y que todo lenguaje de codificación tiene bibliotecas HTTP, es muy accesible. La industria cuenta con algo de experiencia usando HTTP para la configuración de productos y dispositivos, pero no para el acceso a datos. De este modo, muchas plataformas TIC e IoT aceptan HTTP para proveer y recibir información, pero no así las plataformas industriales.



MQTT (Message Queuing Telemetry Transport, 'Cola de mensajes telemetría y transporte') es un protocolo publicar/suscribir diseñado para SCADA y redes remotas. Se centra en un mínimo encabezado (dos bytes de cabeza) y comunicaciones confiables. MQTT es específica para la aplicación, y la mayoría de las implementaciones usan un formato JSON personalizado o binario.

Existen muchos ejemplos, proyectos, clientes/productores de código abierto en cada lenguaje. Muchas plataformas IoT soportan HTTP y MQTT como los primeros dos protocolos de entrada de información. Se recomienda el uso de MQTT cuando el ancho de banda sea premium y no conozca su infraestructura..

CoAP (Constrained Application Protocol, 'protocolo de aplicación restringida') es similar a HTTP, pero usa UDP/multicast en lugar de TCP.

Además, simplifica el encabezado HTTP y reduce el tamaño de cada requerimiento. CoAP se utiliza en dispositivo de borde en donde HTTP sería demandante de recursos, y a menudo, las plataformas de IoT lo utilizan como tercer protocolo, después de HTTP y MQTT.

Similar a HTTPS, CoAP usa DTLS (Datagram Transport Layer Security, 'seguridad en la capa de transporte datagrama') para proteger las comunicaciones. Use CoAP cuando HTTP demande un ancho de banda demasiado intenso. Recuerde que su adopción en el mercado no está tan extendida como HTTP, de modo que quizá limita sus opciones de software y hardware. Existen soluciones para convertir mensajes CoAP desde y hacia HTTP que pueden hacer a las soluciones CoAP más interoperables.



DDS (Data Distribution Service, 'servicio de distribución de datos') es un protocolo publicar/suscribir que se focaliza en el borde de la comunicación

en la red. DDS es un estándar abierto operado por OMG (Object Management Group, 'Grupo de Gestión de Objetos'). A diferencia de MQTT, que requiere de un agente centralizado, DDS está descentralizado. Los nodos de DDS se comunican directamente punto a punto a través de UDP/multidifusión (multicast). Esto hace que no sea necesaria una gestión centralizada de la red y que DDS sea un protocolo más veloz, con una resolución por debajo del milisegundo.

DDS es una buena solución para la entrega de información de forma confiable y en tiempo real. Úselo para comunicaciones rápidas M2M (machine to machine, 'máquina a máquina').

DDS soporta a los gestores para integrar redes DDS con la empresa, pero en la práctica no está bien posicionado como punto de integración entre la industria y TIC; como gestores,



son a menudo secundarios para la red DDS.

AMQP (Advanced Message Queuing Protocol) es otro protocolo tipo publicar/suscribir que proviene del sector de servicios financieros. Tiene su presencia en TIC, pero bastante limitada en la industria.

El mayor beneficio de AMQP es su modelo robusto de comunicaciones que soporta transacciones. A diferencia de MQTT, AMQP puede garantizar transacciones completas lo cual, aunque útil, no siempre es algo que requieran las aplicaciones IoT.

AMQP se agrupa a menudo con protocolos IoT y es uno, pero su mayor contra es que se trata de un protocolo pesado. Fue destinado para sistemas TIC, y no para el límite de la red.

Fuente: (Semle, 2016)

D. Modelos de Servicio

Dependiendo del tipo de nube, serán; nubes públicas, nubes privadas, nubes híbridas. Existen distintos modelos de servicio que ofrece dentro del modelo cloud computing. En la Figura 8 se muestra los modelos de servicio que existen. La diferencia principal entre los tres servicios es el grado del uso de componentes de software y hardware y su gestión por terceros o su gestión propia. Sus usos dependen de la necesidad que un cliente/usuario tenga.



Figura 8 Modelos de Servicio en Cloud Computing

Fuente: (Bachmann, 2012)

Tabla 6

Definiciones de los Modelos de Servicio en Cloud Computing

Modelo	Concepto
	<p>Este servicio es el más contratado por los usuarios. El software se ubica dentro de infraestructura propietaria de los proveedores y se direcciona con un navegador web o un cliente fino especializado, a través de la nube.</p> <p>El usuario no tiene que preocuparse porque todo el mantenimiento, el soporte y la disponibilidad del software está manejado por el proveedor. El usuario estará limitado por la capacidad de computo, almacenamiento, datos y limitaciones del software que el proveedor disponga ya que no posee control sobre el código fuente de la aplicación. Ejemplos: MS Office, Sharepoint, redes sociales, etc.</p>



En este caso el usuario puede utilizar directamente a una carga de servicios que le permite alojar y desarrollar sus propias aplicaciones en una plataforma. Esta plataforma que contiene los recursos de infraestructura, sistemas operativos, middleware y runtimes. El proveedor ofrece el uso de su plataforma que a su vez se encuentra alojada en sus infraestructuras. Ejemplos: MS Windows Azure, Google App Engine.



Este modelo proporciona opciones a los usuarios que necesiten adaptar sus propios plataformas y aplicaciones rápidamente y bajo demanda.

El proveedor proporciona una infraestructura teniendo por encima de todo su capa de virtualización en donde las cargas de trabajo del hardware físico y su consolidación sobre servidores y el conjunto de elementos de cómputo incluidos en los servidores es totalmente virtual.

En ocasiones se refieren a IaaS como HaaS (Hardware as a Service). Como ejemplos de este tipo de servicios podemos mencionar Digital Ocean y Amazon EC2 (Elastic Compute Cloud).

2.3.3 Node-RED

Node-red es una herramienta visual que utiliza un modelo de programación basado en flujos para conectar numerosos servicios compatibles, en un flujo conectado.

Cada flujo consta de un número de nodos, cada uno de los cuales es un servicio predefinido, y están conectado por un enlace dirigido para transmitir datos de un nodo a otro.

La Figura 9 muestra la arquitectura de tiempo de ejecución para Node-red, cada flujo de Node-red se monitorea mediante un bucle de eventos, que es un solo proceso, para verificar los eventos emitidos (paso 2) desde el nodo. Después de recibir los eventos emitidos (paso 1), el bucle de eventos activa al nodo receptor para que haga los trabajos (paso 3) después de realizar el trabajo, el nodo devuelve los resultados al ciclo de eventos (paso 4) y a los nodos (paso 5) (Shih, Chuang, & Yeh, 2017)

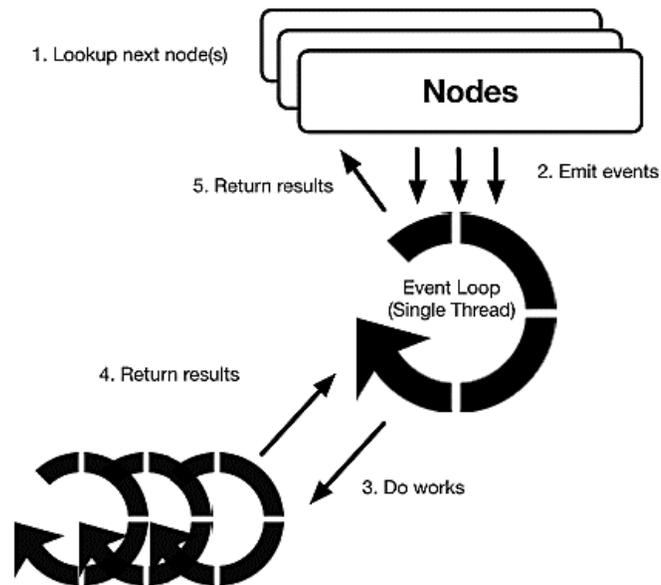


Figura 9 Lógica de Programación de Node-RED

Fuente: (Shih, Chuang, & Yeh, 2017)

Como se muestra en la Figura 9 Node-red es una estructura de programación basada en flujo centralizado. El flujo consiste en un número de nodos, tiene que ser alojado por un solo proceso. Cada nodo emite y recibe eventos del proceso de lazo de eventos.

Entonces, todos los eventos en el flujo son recibidos y dirigidos por el proceso de lazo del evento.

Una limitación de Node-red es la comunicación entre los nodos en diferentes flujos. Los enlaces entre los nodos están limitados a los nodos en el mismo flujo. Por tanto, los nodos en diferentes flujos tienen que comunicarse utilizando protocolos de comunicación como RESTFUL API. Cuando hay una necesidad de intercambio de datos entre nodos en diferentes flujos, existen limitaciones adicionales y se hace difícil valorar la interacción entre los flujos

Una ventaja de Node-red es su capacidad de utilizar servicios de internet tales como servicios en http, twitter y correos electrónicos. Los desarrolladores pueden añadir estos servicios pre definidos en flujos con mínimo esfuerzo en el desarrollo.

2.4 Monitorización en la Nube aplicada a la industria

En la industria, un sector que avanza y cambia a pasos agigantados, entra en escena un nuevo término: el Internet Industrial de las Cosas. El objetivo de esta tecnología es conseguir una mayor optimización de la eficacia operativa y la producción industrial. Es decir, hacer la producción manufacturera más flexible, rentable y sensible a los cambios que pide el mercado.

El IIoT (Industry Internet of Things) permite reducir el tiempo de inactividad de las máquinas y conseguir que los sistemas estén 100% disponibles. Lo que permite una monitorización remota de los datos que cada dispositivo ofrece, entrando en juego términos como el Cloud Computing o el Big Data. Un sistema que permite a las empresas valerse del mantenimiento predictivo, una técnica utilizada para pronosticar los fallos de la maquinaria y reducir así costes de mantenimiento, mejorar la eficiencia y la disponibilidad. (Artigas, 2016)

Siemens, compañía global líder en tecnología, lanza su sistema operativo de Internet of Things (IoT) en la nube, MindSphere. Una plataforma capaz de conectar máquinas e infraestructuras físicas -tanto de Siemens como de terceros- al mundo digital, para extraer y analizar sus datos. Y es que hoy en día cada sistema físico posee una gran cantidad de datos e información que, al ser analizados, pueden optimizar el rendimiento de los recursos y conseguir mejores resultados en cualquier actividad. (Siemens, s.f.)

Para que un cliente pueda obtener el máximo beneficio, primero hay que definir los datos de interés, extraerlos y transferirlos a esta nueva plataforma creada por Siemens. De esta forma en que MindSphere conecta los datos con las personas, con el objetivo de obtener resultados capaces de aumentar los beneficios de una compañía. (Siemens, s.f.)

Por ejemplo, con esta herramienta, se puede incrementar la producción de una fábrica, reducir costes de mantenimiento o conseguir importantes ahorros energéticos, entre otras ventajas.

MindSphere admite estándares abiertos tanto para la adquisición como para la transferencia de datos, lo que proporciona unas soluciones de conectividad listas para usar, acceso a bibliotecas abiertas y la capacidad de admitir productos de terceros. (Siemnes, s.f.)

Los ejemplos más claros sobre la aplicabilidad de estas tecnologías se reflejan en grandes grupos de industrias, así tenemos la industria hotelera; La empresa Powerhouse Dynamics ofrece una aplicación del IoT para este sector. Permite controlar, supervisar y gestionar los equipos de climatización centralizada, controlar la iluminación, supervisar equipos de refrigeración, detección y mal uso del agua, seguimiento de almacén de alimentos y seguimiento de mantenimientos.

Con respecto a la ganadería, el seguimiento biométrico de los animales y su geolocalización es un factor a tener en cuenta. En este sector, la empresa Infiswift ofrece servicios especializados.

Debido a la versatilidad de la conexión a internet, la aplicabilidad de IoT en cualquier tipo de industria como el gestiónamiento de tráfico, gestionamiento de suministros, gestionamiento de almacenamientos y sector industrial de salud. Esta tecnología es adaptativa a cualquier entorno, cuya finalidad sea un mejor manejo y monitorización, empleando las características que conforman la industria 4.0.

CAPITULO 3

DISEÑO MECATRÓNICO

3.1 Subsistema Mecánico

3.1.1 Análisis y Selección de Alternativas del Subsistema Mecánico

Para realizar el diseño más eficiente del subsistema mecánico primero se consideran las diferentes alternativas para tener un sistema de dosificación idóneo, es de mucha importancia apreciar con mayor detalle las ventajas y desventajas que puede tener el diseño para así tener el resultado más favorable.

3.1.1.1 Restricciones y Limitaciones

La microempresa APOCALIPSIS CIA. LTDA. con el fin de implementar una nueva línea de snacks semiautomática con los estándares de calidad necesarios, mediante la optimización de la cantidad del producto y reducir el tiempo de producción, ha decidido incorporar una máquina semiautomática que satisfaga las necesidades de la empresa y de un costo asequible.

Las restricciones y limitaciones establecidas de esta microempresa y que se deben cumplir son:

- ✓ Proporcionar dosificaciones de 30g con un rango de error de +/- 5%
- ✓ Debe contar con una tolva de almacenamiento para una carga máxima de 6000 gramos.
- ✓ Debe realizar como mínimo 6 dosificaciones de 30g por min.
- ✓ La cantidad máxima aceptable de dosificaciones fuera del rango debe ser del 5% de la producción en el día.
- ✓ Cumplir con normas de la industria alimenticia referentes a la seguridad e higiene.
- ✓ La máquina empacadora debe ser de fácil mantenimiento y remplazo de los componentes.
- ✓ Debe ser fácilmente monitorearle mediante la nube.
- ✓ Debe ser de un fácil mantenimiento y con el costo más accesible posible.

3.1.1.2 Selección de Alternativas del Sistema de Dosificación

Como se destacó en el capítulo 2 en la sección 2.1 en la página 6, se destacó que existen dos principales tipos de dosificación los cuales según sus características obtenemos los siguientes detalles representados en la tabla 7

Tabla 7

Alternativas Sistema de Dosificación

Alternativas	Rapidez de Producción	Costo Aproximado	Manufactura	Producto Por Dosificar
Volumétrico	18-25 descargas / minuto	Aproximadamente \$5000-6000	Tolva de Almacenamiento -Vasos telescópicos -Tambor Rotatorio	-granos -polvos
Por peso	10-40 descargas / minuto	Aproximadamente \$8000 - 10000	-Tolva de Almacenamiento -Tolva de Descarga -Canal Vibrante	-snacks -granos -polvos

Fuente: (Arango, 2018) (Alfapack, 2018)

3.1.1.3 Parámetros de Evaluación del Sistema de Dosificación

A. Rapidez de producción

Este parámetro se toma en cuenta a las necesidades de la empresa por mejorar su producción, ya que el sistema inicial que se utilizaba, se lograba obtener un promedio de 2 fundas por minuto, y con la implementación del nuevo sistema se espera obtener un promedio de 8 a 10 fundas por minuto, mejorando así su rapidez de producción.

B. Costo

Este es un factor muy importante ya que se debe tener en cuenta aspectos como son la posibilidad de adquisición, disponibilidad de material en el mercado, costos de manufactura y varios parámetros que interfieren en el diseño de la máquina.

C. Manufactura

Es fundamental que al momento de la fabricación de la máquina se tenga en consideración la obtención de materiales en el mercado nacional para promover la industria en nuestro país y que además su manufactura se la realice con procesos de manufactura estándar existentes en el mercado nacional.

D. Producto para Dosificarse

Este parámetro es el más importante dentro de la selección del dosificador, porque dependiendo del producto a dosificar, los diferentes mecanismos o etapas dentro del dosificador no deben comprometer de ninguna manera la integridad el producto.

3.1.1.4 Selección de Alternativas de Sistema de Dosificación

En base a la Tabla 7 podemos denotar que para el parámetro rapidez de producción y manufactura, tanto el dosificador volumétrico y el por peso cumplirían con la especificación requerida.

En lo referente a costo se puede denotar que el sistema de dosificación volumétrico es muchos más económico porque posee menos componentes y menos manejos de señales en comparación al dosificador por peso, es decir, el proceso es realmente más mecánico, pero finalmente el parámetro decisivo en la selección del dosificador es el producto a dosificar, determinando como mejor opción el dosificador por peso, porque al ser snacks el producto a dosificarse es imperativo tomar en cuenta que es un producto bastante frágil; el manejo del producto que realiza el dosificador por peso no compromete al producto como tal, debido a que los cambios de etapa y mecanismos de transporte son los menos agresivos posibles con el producto, en cambio el dosificador volumétrico en donde sus mecanismos hacen que el producto choque el producto contra la estructura del dosificador, rompiendo y fracturando el producto.

2. Diseño de Sistema de Dosificación por Peso

El sistema de dosificación por peso consta de 3 etapas las cuales son: etapa de alimentación que consta de la tolva de alimentación que entrega el producto almacenado a una bandeja vibratoria la cual distribuirá el producto hacia la etapa de transporte en las que se encuentra dos canales vibratorios controladas independientes mentes que entregan el producto a las tolvas de dosificación para que el producto sea pesado para su posterior empaquetamiento.

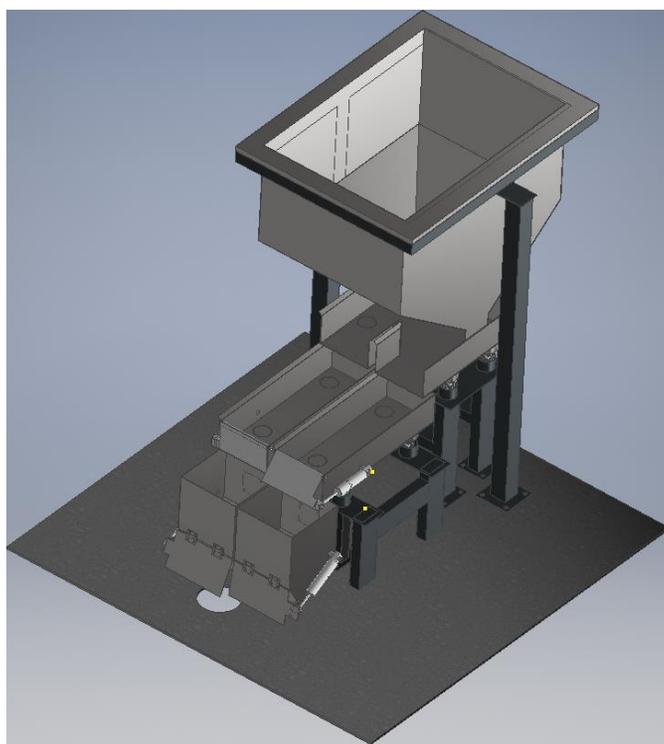


Figura 10 Esquema General del Dosificación por Peso

3.1.2.1 Material y Normativa

El material necesario para la elaboración de equipos que trabajan en el ámbito alimenticio se debe tomar en cuenta ciertos requisitos indispensables establecidos por la normativa de sanidad y salud pública establecidos en conformidad con la Directiva 89/109/CEE, “Todos los materiales en contacto con los alimentos deben ser no tóxicos, mecánicamente estables, no absorbentes, inertes y resistentes a los productos alimentarios y a todos los agentes de limpieza y

desinfección, a las diferentes concentraciones y a las diferentes presiones y temperaturas de utilización”. Además, las superficies en contacto con los alimentos serán lisas, duras, continuas y carentes de oquedades, fisuras y grietas. (Martín, 2010)

Donde nosotros hemos utilizado acero inoxidable utilizado en las series AISI 200, AISI 300 o AISI 400. Cuando se usa en una zona de alimentos, el acero inoxidable debe tener un contenido mínimo de cromo del 16%. (ANSI/NSF3, 2001)

3.1.2.2 Etapa de Alimentación

A. Tolva de Alimentación

- **Dimensionamiento de Tolva de Alimentación**

Se parte con la premisa que la empresa en la parte de elaboración del producto elabora aproximadamente 4000g (snacks), requerimiento sugerido por la empresa. Para ellos se diseña una tolva con las siguientes dimensiones y especificaciones.

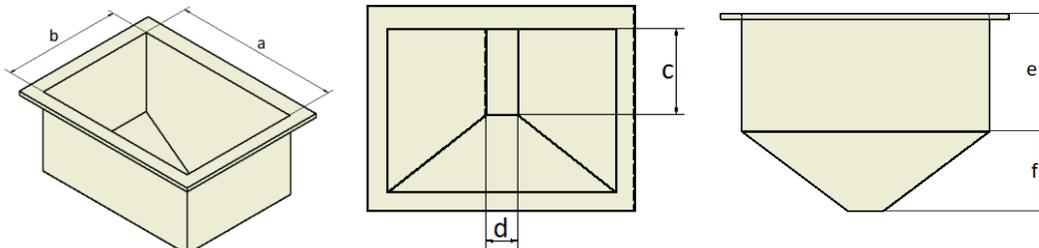


Figura 11 Dimensionamiento de Tolva de Alimentación

$$a = 502 \text{ mm}$$

$$d = 70 \text{ mm}$$

$$b = 359 \text{ mm}$$

$$e = 239 \text{ mm}$$

$$c = 189 \text{ mm}$$

$$f = 162 \text{ mm}$$

$$V_i = \frac{f}{3} \left[(a \cdot b) + (c \cdot d) + \sqrt{(a \cdot b) + (c \cdot d)} \right] + (a \cdot b \cdot e) \quad (1)$$

(Ver Anexo Figura 64)

Donde:

V_i = Volumen interno de la tolva

Entonces:

$$V_i = \frac{162}{3} \left[(502 \cdot 359) + (189 \cdot 70) + \sqrt{(502 \cdot 359) + (189 \cdot 70)} \right] + (502 \cdot 359 \cdot 239)$$

$$V_i = 53542045 \text{ mm}^3 = 53542.04 \text{ cm}^3$$

Para conocer la densidad del producto a dosificar se tomará en cuenta que el snack de referencia a dosificarse es la papa chip ya que este posee la propiedad de ocupar un gran volumen con pequeñas cantidades de masa. Para aquello, las pruebas experimentales consisten en llenar con el producto un recipiente con un volumen referencial de 1000cm^3 y mediante una balanza electrónica medir el peso total; luego se resta la masa del recipiente de la masa total.

En la Tabla 8 se expresa cada una de las mediciones de las masas totales obtenidas de cada una de las medidas realizadas y la masa total del producto contenido en el volumen establecido.

Tabla 8

Toma de medidas de masas de producto

Datos	Masa del Recipiente [g]	Masa Total [g]	Masa del Producto [g]
1	102	246	144
2	102	245	143
3	102	249	147
4	102	247	145
5	102	245	143
6	102	249	147
7	102	245	143
8	102	248	146
9	102	244	142
10	102	248	146
PROMEDIO			144.6

En la Figura 12 podemos observar cómo se obtuvo experimentalmente la densidad relativa del producto y la medida de la masa neta del recipiente.



Figura 12 Obtención experimental de densidad de producto

Como se puede observar en la Tabla 8 se puede definir la masa promedio dentro del volumen referencial de 1000cm^3 es de 144.6g entonces se obtiene una densidad de producto 0.145g/cm^3 y si sabemos que:

$$m_T = \rho_p \cdot V_i \quad (2)$$

Donde:

m_T = Masa total almacenada

ρ_p = Densidad de producto

Entonces:

$$m_T = 0.145 \cdot 53542.04 = 7742.2 \text{ g}$$

Dado que la capacidad máxima requerida de la tolva está diseñada de 7742.2 g y el requerimiento por la empresa es de 6000g de producto, en conclusión, se cumple con el requerimiento de la empresa.

- **Cálculo del Peso de la Tolva de Alimentación**

Para realizar el cálculo del peso tolva se calcula un volumen externo de la tolva (V_e) en donde se toma en cuenta el 1mm de espesor y densidad de la plancha de acero inoxidable.

Donde:

$$a = 504 \text{ mm} \qquad b = 361 \text{ mm}$$

$$c = 191 \text{ mm} \qquad d = 72 \text{ mm}$$

$$e = 239 \text{ mm} \qquad f = 162 \text{ mm}$$

$$V_e = \frac{f}{3} \left[(a \cdot b) + (c \cdot d) + \sqrt{(a \cdot b) + (c \cdot d)} \right] + (a \cdot b \cdot e) \quad (1)$$

(Ver Anexo figura 64)

Por lo tanto:

$$V_i = \frac{162}{3} \left[(504 \cdot 361) + (191 \cdot 72) + \sqrt{(504 \cdot 361) + (191 \cdot 72)} \right] + (504 \cdot 361 \cdot 239)$$

$$V_i = 54076088 \text{ mm}^3 = 54076.09 \text{ cm}^3$$

Sabiendo que el volumen ocupado por solo la plancha de acero inoxidable que ocupa la tolva de alimentación. Se obtiene que:

$$V_T = V_e - V_i$$

$$V_T = 54076.09 \text{ cm}^3 - 53542.04 \text{ cm}^3 = 534.04 \text{ cm}^3$$

Se calcula el peso neto de la tolva conociendo que la densidad del acero inoxidable es de 7.8 g/cm^3 (ver Anexo Figura 67). Por lo tanto.

$$m = d_{inox} \cdot V_T \quad (3)$$

Donde:

m = Masa de la tolva de alimentación.

ρ_{inox} = Densidad de acero inoxidable

Entonces:

$$m = 7.8 \frac{g}{cm^3} \cdot 534.04 cm^3$$

$$m = 4166 g = 4.17 Kg$$

- **Calculo Columnas de Soporte de la Tolva**

Para garantizar que las columnas puedan soportar la carga axial de compresión aplicada, se debe realizar un análisis previo en el cual se debe tomar en cuenta que una columna tiende a pandearse dependiendo de la forma, dimensiones de su sección transversal, la longitud y la forma de fijación a los apoyos adyacentes. (Mott, 2006).

Para realizar el respectivo cálculo y análisis, se deben utilizar las siguientes ecuaciones:

$$A = a^2 - b^2 \quad (4)$$

(Ver Anexo Tabla 22)

$$I = \frac{a^4 - b^4}{12} \quad (5)$$

(Ver Anexo Tabla 22)

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{12}} \quad (6)$$

$$S_r = \frac{K \cdot L}{r} \quad (7)$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{S_y}} \quad (8)$$

$$P_{cr} = A \cdot S_y \left[1 - \frac{S_y \cdot \left(\frac{K \cdot L}{r}\right)^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot E} \right] \quad (9)$$

$$P_a = \frac{P_{cr}}{N} \quad (10)$$

Donde:

a = Arista exterior del tubo

b = Arista interior del tubo

L = Longitud del tubo

r = Radio de giro de la sección transversal

K = Factor de fijación de extremos

C_c = Constante de columna

S_y = Resistencia de fluencia del material

E = Módulo de elasticidad

N = Factor de seguridad

P_{cr} = Carga crítica

P_a = Carga admisible



Figura 13 Esquema de soporte para tolva de alimentación

Se observa en la Figura 13 las columnas que soportaran la carga constan de tubos de acero, que poseen una sección cuadrada hueca y con una forma de fijación empotrada-libre, por lo que el valor de k será de 2.1 (ver figura 14)

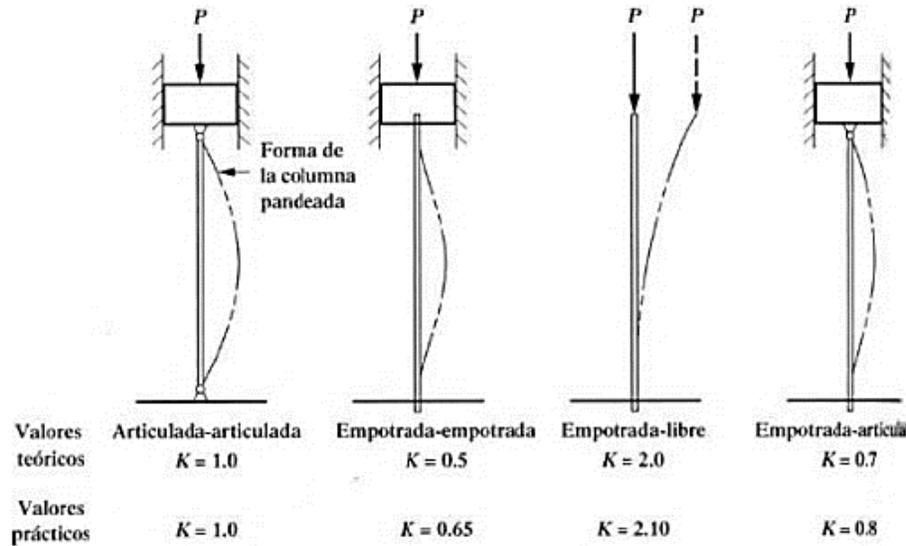


Figura 14 Constante K según tipo de apoyo

Fuente: (Mott, 2006)

Donde:

$$a = 38 \text{ mm}$$

$$b = 34 \text{ mm}$$

$$L = 748 \text{ mm}$$

$$S_y = 250 \text{ MPa (Ver Anexo Figura 66)}$$

$$E = 200 \text{ GPa (Ver Anexo Figura 66)}$$

Por lo tanto:

Se calcula el radio de giro de la sección transversal r.

$$r = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{12}} = \sqrt{\frac{38^2 + 34^2}{12}} = 14.72 \text{ mm}$$

Se calcula la relación de esbeltez.

$$S_r = \frac{K \cdot L}{r} = \frac{2.1 \cdot 748}{14.72} = 106.71$$

Se calcula la constante de columna.

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{S_y}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 250E6}{200E9}} = 125.66$$

Se compara los valores obtenidos de KL/r y C_c para determinar si la columna es larga o corta y posteriormente se emplea la fórmula ya sea de Euler o de Johnson.

$$\frac{KL}{r} > C_c \text{ Fórmula de Euler (columna larga)}$$

$$\frac{KL}{r} < C_c \text{ Fórmula de Johnson (columna corta)}$$

$$106.71 < 125.66$$

Por lo tanto, se emplea la fórmula de Johnson para calcular la carga crítica.

$$A = a^2 - b^2 = 38^2 - 34^2 = 288 \text{ mm}^2$$

$$P_{cr} = A \cdot S_y \left[1 - \frac{S_y \cdot \left(\frac{K \cdot L}{r} \right)^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot E} \right] = 288 \cdot 250E6 \left[1 - \frac{250E6 \cdot \left(\frac{2.1 \cdot 748}{14.72} \right)^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot 200E9} \right] = 49919.77 \text{ N}$$

Se determina la carga admisible aplicando un factor de seguridad $N=2$. (Ver Anexo 2, Tabla 23)

$$P_a = \frac{P_{cr}}{N} = \frac{49919.77}{2} = 24959.88 \text{ N} = 2546.93 \text{ Kgf}$$

La carga que soportará los tubos es tanto del peso de la tolva, la carga máxima del producto y los soportes de sujeción de 4.17, 7.74 y 4.16 kg respectivamente; dando como resultado 16.07 kg, debido a que consta de dos tubos lo dividimos para cada uno y obtenemos que cada tubo debe soportar una carga de 8.04 kg.

$$2546.93 \text{ kg} > 8.04 \text{ kg}$$

Una vez realizado el análisis de cargas, se asume que las columnas pueden soportar la carga que se les aplica satisfactoriamente, y que las dimensiones elegidas de la sección transversal cuadrada hueca cumplen con lo requerido, debido a la disponibilidad en el mercado local.

A continuación, se simula la carga aplicada en el tubo el cual está construido en acero ASTM A36. Su forma de fijación en un extremo es empotrada y el otro es libre. (Ver Figura 15)

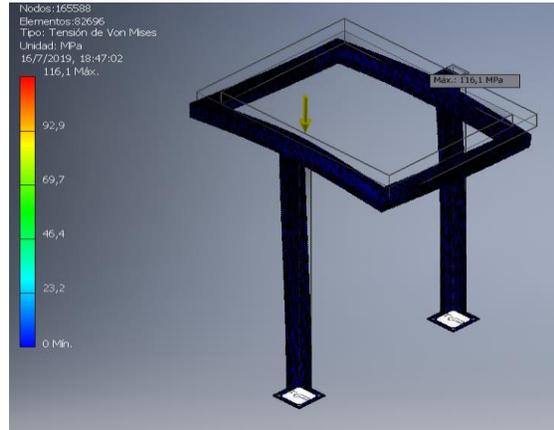


Figura 15 Simulación de carga al soporte para tolva de alimentación

Simulación de la carga aplicada a la columna soporte donde la curva de convergencia de la columna soporte de la tensión de Von Mises (Figura 16). Indica que, realizado el análisis de elementos finitos, implementado hasta 82696 elementos en donde se obtuvo una variación mínima en el resultado de la tensión soportada por la carga de la tolva que viene a estar dado por 116.1MPa con un error de 2.209% en relación con la curva de convergencia de la tolva.

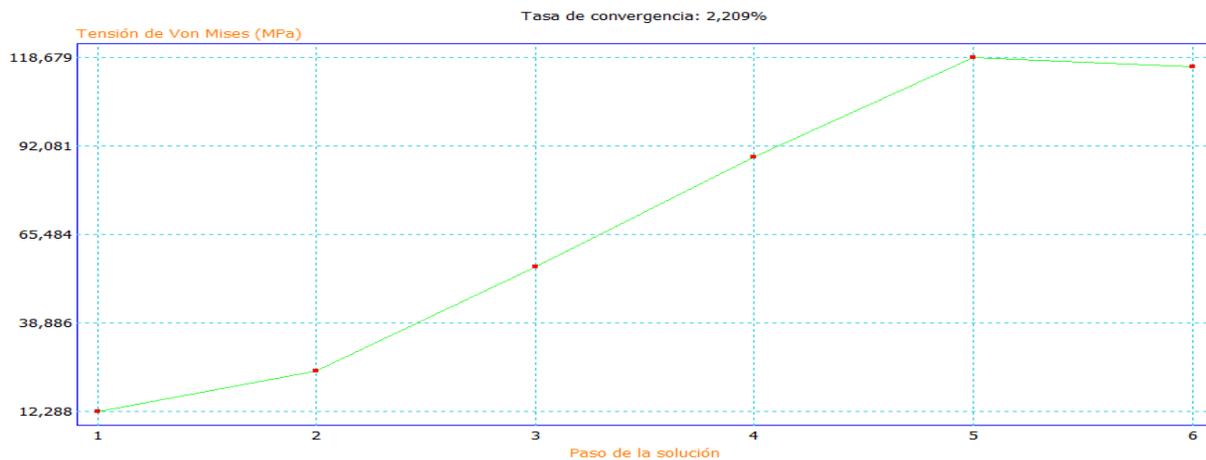


Figura 16 Curva de Convergencia de soporte de tolva de alimentación

B. Canal Vibratorio de Distribución

Para el diseño del canal vibratorio solo se debe tomar en cuenta el esfuerzo necesario que soportará los apoyos con la estructura base ya que la vibración producida por el actuador se transmitirá directamente desde el canal hacia la estructura por medio de los apoyos.

- **Selección de Alternativas Actuador para Canal Vibratorio**

Para el diseño del canal vibratorio primero se tomará en cuenta la selección del actuador el cual causara la vibración que es factor fundamental en el diseño del canal vibratorio. La vibración emitida permitirá que le producto se desplace de una etapa a otra por medio de los canales.

Referente al mercado tanto nacional como extranjero podemos encontrar los siguientes tipos de actuadores que según sus características obtenemos los siguientes detalles representados en la tabla 9

Tabla 9

Alternativas Actuador para Canal Vibratorio

Alternativas	Materiales de Producción	Aplicación	Dificultad de Adquisición
Eléctricos	-Materiales Pesados	-Tolvas y Silos -Sistemas de tamizado	No existente en el mercado nacional
Electromagnéticos	-Materiales livianos y pesados	-Superficies Curvas -Tovas cónicas y Rectangulares -Canales Inclinados	Existentes en el mercado nacional con entrega sobre pedido
Neumáticos	-Material medio y liviano	-Descarga en tolvas, silos, canales -Alimentación y movimiento de piezas -Llenado de sacos o envases	Existente en el mercado nacional

Fuente: (VIBROMAQ, 2018) (Aiser, 2019)

- **Parámetros de Evaluación de Actuador de Canal Vibratorio**

A. Materiales de Producción

La empresa al poseer una baja producción no se necesita un actuador demasiado robusto que se ajuste al diseño tanto del sistema de dosificador y a la tolva de alimentación. Por lo tanto, deberá tomar el actuador que tenga la capacidad de manejar materiales livianos como son snacks.

B. Aplicación

La empresa al ser del tipo industrial alimenticia se someterá a estándares tanto de seguridad y limpieza por tanto es necesario conocer cómo se desenvuelve de mejor manera dentro de las aplicaciones recomendadas por fabricantes para sacar el mejor rendimiento del actuador.

C. Dificultad de Adquisición

Es fundamental se tenga en consideración la obtención del actuador en el mercado nacional para promover la industria en nuestro país y sea mucho más fácil la compra de este tanto en precio como en tiempo de adquisición.

3.1.1.4 Selección de Alternativas de Actuador de Canal Vibratorio

En base a la Tabla 9 podemos denotar que el actuador eléctrico es demasiado robusto la aplicación que se requiere y es de difícil adquisición por lo que se descarta como opción como opción de actuador.

En lo referente al actuador electromagnético y al neumático vemos que poseen características similares en los que se refiere a aplicación y carga materiales con los que se trabaja; podrían desempeñar sin ningún problema el trabajo requerido, las diferencia radica en la dificultad de adquisición que es relativamente un poco más difícil la adquisición del canal del actuador electromagnético con un costo mayor al del actuador neumático.

También se debe tomar en cuenta que el actuador electromagnético al poseer su propio diseño con su respectivo canal este no es fácilmente acoplable a un diseño propio, como es en el otro caso del actuador neumático que al ser muchos más compacto y versátil y aprovechado la alimentación de aire de la máquina puede acoplarse fácilmente cualquier diseño de la máquina.

En conclusión, el actuador neumático se considera como la mejor alternativa para la selección del actuador vibratorio para canal vibratorio.

- **Calculo Soportes para Canal de Alimentación**

Para los soportes del canal vibratorio se ha analizado dos posibles soluciones las cuales consisten en un resorte mecánico o un acople flexible con la finalidad que absorban las vibraciones del canal y no se transmitan a la estructura.

Como primera opción se desarrolló el diseño de resorte mecánico el cual absorberá las cargas presentadas y servirá como soporte del canal vibratorio para que este, desenvuelva su función sin comprometer la estructura base.

Cuando un diseñador desea rigidez, una deflexión insignificante es una aproximación aceptable, siempre y cuando no comprometa la función. La flexibilidad algunas veces es necesaria y con frecuencia se la proporcionan los cuerpos metálicos con geometría ingeniosamente controlada. Los resortes pueden presentar flexibilidad hasta el grado que pretenda el diseñador.

Los resortes permiten la aplicación controlada de una fuerza o de un par de torsión; el almacenamiento y la liberación de energía representan otro posible propósito. (Shigley, 1985)

Para realizar el respectivo cálculo y análisis de resorte se deben utilizar las siguientes ecuaciones:

$$F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2} \quad (11)$$

$$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2} \quad (12)$$

$$k = \frac{F_{max}}{y_{max}} \quad (13)$$

$$S_{se} = S_{sa} \text{ (Criterio de Sinnes)} \quad (14)$$

$$C = \frac{2\alpha - \beta}{4\beta} + \sqrt{\left(\frac{2\alpha - \beta}{4\beta}\right)^2 - \frac{3\alpha}{4\beta}} \text{ sea } \alpha = \frac{S_{se}}{\eta_f} \text{ y } \beta = \frac{8F_a}{\pi d^2} \quad (15)$$

$$D = Cd \quad (16)$$

$$DI = D - d \quad (17)$$

$$DE = D + d \quad (18)$$

$$N_a = \frac{d^4 G}{8D^3 k} \quad (19)$$

$$N_t = N_a + 2 \quad (20)$$

$$L_s = d(N_t + 1) \quad (21)$$

$$L_o = pN_a + 3d \quad (22)$$

$$p = \frac{(L_o - 3d)}{N_a} \quad (23)$$

$$(L_o)_{cr} < 2.63 \frac{D}{\alpha} \quad (24)$$

$$W = \frac{\pi^2 d^2 D N_a \gamma}{4} \quad (25)$$

$$f_n = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{kg}{W}} \text{ [Hz]} \quad (26)$$

Donde:

F_{max} = Fuerza máxima

F_{min} = Fuerza mínima

F_a = Fuerza alternante

F_m = Fuerza media

y_{max} = Deformación máxima

k = Constante de resorte

S_{se} = Esfuerzo ultimo estático

S_{sa} = Esfuerzo último alternante

C = Índice de resorte

D = Diámetro de resorte

d = Diámetro de alambre de resorte

DI = Diámetro interno de resorte

DE = Diámetro externo de resorte

N_a = Número de espiras activas

G = Módulo elástico al cortante

N_t = Número de espiras totales

L_s = Longitud solida de resorte

L_o = Longitud libre de resorte

p = Paso de resorte

$(L_o)_{cr}$ = Longitud critica de resorte

α = Constante de condición de extremos

W = Peso de parte activa de resorte

f_n = Frecuencia crítica

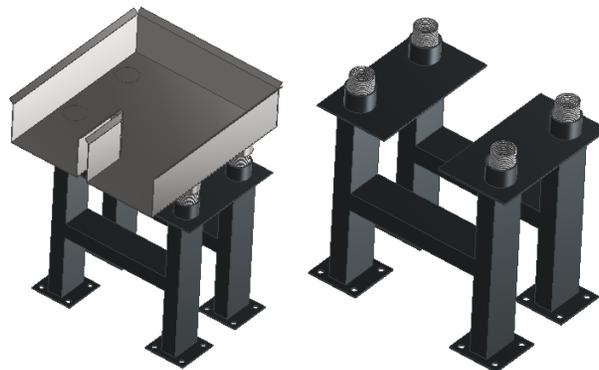


Figura 17 Esquema de soporte para canal de alimentación

Se observa en la figura 17 los resortes que soportaran la fuerza centrífuga producido por el vibrador la cual es de 710N a una frecuencia de trabajo 34000 vpm (ver Anexo Figura 68) más la carga inercial de la masa del canal vibrador que es de aproximadamente 1.9 Kg y el producto que se pueda disponer a lo largo del canal que no excederá los 2 Kg.

Toda esta carga se distribuirá en los cuatro apoyos del canal por tanto la carga máxima y mínima sometida al resorte estará dada por:

$$F_{min} = \frac{m_c \cdot g}{4} \quad (27)$$

$$F_{max} = F_{min} + \frac{F_v}{4} \quad (28)$$

Donde:

F_{min} = Fuerza mínima

F_{max} = Fuerza máxima

m_c = Masa del canal

g = Gravedad

F_v = Fuerza del vibrador k10

Por lo tanto.

$$F_{min} = \frac{m_c \cdot g}{4} = \frac{1.8 \cdot 9.8}{4} = 4.41 \text{ N}$$

$$F_{max} = F_{min} + \frac{F_v}{4} = 4.41 + \frac{710}{4} = 181.91 \text{ N}$$

También se debe tomar en consideración como parámetros importantes de diseño que el resorte debe tener un diámetro externo entre 33 a 34 mm para encajar en los apoyos circulares colocados en el canal y la estructura (ver Figura 17); debe poseer una longitud libre debe ser de al menos 70mm por dimensiones de diseño y la deflexión del extremo del resorte varia de 0mm a 5mm.

Las decisiones a priori son:

- Material según el mercado se ha determinado que es alambre de acero A239 cuyas características son: $A = 1.855 \text{ MPa} \cdot \text{mm}^m$, $m = 0.187$, $G = 77.2 \text{ GPa}$ (ver Anexo Tabla 24 y 25)
- Tratamiento de la superficie: sin martillar
- Tratamiento de los extremos: a escuadra y cerrado
- Linealidad robusta: $\xi = 0.15$ (recomendado)

- $4 \leq C \leq 12$ y $3 \leq Na \leq 15$ (recomendado)
- Deformación: utilícelo en la condición según se enrolló
- Factor de seguridad contra la fatiga: $n_f = 1.5$, (criterio de Sines – Zimmerli)
- Función: $F_{\min} = 4.41$ N, $F_{\max} = 181.91$ N, $y_{\min} = 0$ mm, $y_{\max} = 2$ mm, el resorte opera libre (sin varilla o agujero)
- Variable de decisión: tamaño del alambre d

Para iniciar con el diseño primero se fija $d=2.4$ mm. Entonces:

$$F_a = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{2} = \frac{181.91 - 4.41}{2} = 88.75 \text{ N}$$

$$F_m = \frac{F_{\max} + F_{\min}}{2} = \frac{181.91 + 4.41}{2} = 93.41 \text{ N}$$

$$k = \frac{F_{\max}}{y_{\max}} = \frac{181.91}{5} = 36.431 \frac{\text{N}}{\text{mm}} = 36431 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Se probaron resortes sin martillar de un esfuerzo torsional mínimo de 20 kpsi a un máximo de 90 kpsi y resortes martillados en el rango de 20 kpsi a 135 kpsi. Se encontró que los componentes de la resistencia a la fatiga de vida infinita son:

Sin martillar:

$$S_{sa} = 35 \text{ kpsi (241 MPa)} \quad S_{sm} = 55 \text{ kpsi (379 MPa)}$$

Martillado:

$$S_{sa} = 57.5 \text{ kpsi (398 MPa)} \quad S_{sm} = 77.5 \text{ kpsi (534 MPa)}$$

según el criterio de Sines, $S_{se} = S_{sa}$ para determinar C con S_{se} n_f y F_a en lugar de S_{sy} n_s y

$(1 + \xi) F_{\max}$, respectivamente. Así se obtiene que:

$$S_{se} = S_{sa} = 241 \text{ MPa}$$

$$\alpha = \frac{S_{se}}{\eta_f} = \frac{241 \text{ MPa}}{1.5} = 160.67 \text{ MPa}$$

$$\beta = \frac{8F_a}{\pi d^2} = \frac{8 \cdot 39.24}{\pi \cdot 2.515^2} = 36.16 \text{ MPa}$$

$$C = \frac{2 \cdot 160.67 - 36.16}{4 \cdot 36.16} + \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 160.67 - 36.16}{4 \cdot 36.16}\right)^2 - \frac{3 \cdot 160.67}{4 \cdot 36.16}} = 2.72$$

$$D = Cd = 2.72 \cdot 2.5 = 6.79 \text{ mm}$$

$$DI = D - d = 6.79 - 2.5 = 4.29 \text{ mm}$$

$$DE = D + d = 6.79 + 2.5 = 9.29 \text{ mm}$$

$$N_a = \frac{d^4 G}{8D^3 k} = \frac{0.0025^4 \cdot 77.2E9}{8 \cdot 0.00679^3 \cdot 36431} = 33.04 \approx 33$$

Dependiendo del tipo de terminación de los extremos del resorte y según la Tabla 10 calculamos los parámetros.

Tabla 10

Parámetros de Resorte según el tipo de extremos

Termino	Tipo de extremos de resortes			
	Plano	Plano y esmerilado	A escuadra y cerrado	A escuadra y esmerilado
Espiras de Extremo N_e	0	1	2	2
Espiras Totales N_t	N_a	$N_a + 1$	$N_a + 2$	$N_a + 2$
Longitud Libre L_0	$pN_a + d$	$p(N_a + 1)$	$pN_a + 3d$	$pN_a + 2d$
Longitud Sólida L_s	$d(N_t + 1)$	dN_t	$d(N_t + 1)$	dN_t
Paso p	$\frac{(L_0 - d)}{N_a}$	$L_0 / (N_a + 1)$	$(L_0 - 3d) / N_a$	$(L_0 - 2d) / N_a$

Fuente: (Shigley, 1985)

$$N_t = N_a + 2 = 33 + 2 = 35$$

$$L_s = d(N_t + 1) = 2.5 \cdot (35 + 1) = 90.09 \text{ mm}$$

$$L_0 = pN_a + 3d = 2.5 \cdot 33 + 3 \cdot 2.5 = 95.84 \text{ mm}$$

$$p = \frac{(L_o - 3d)}{N_\alpha} = \frac{(95.84 - 3 \cdot 2.5)}{33} = 2.7 \text{ mm}$$

El resorte para alcanzar estabilidad absoluta se recurre a la siguiente afirmación

$$L_0 < \frac{\pi D}{\alpha} \left(\frac{2(E-G)}{2G+E} \right)^{1/2} \text{ que, para el caso de aceros, esto resulta en } (L_0)_{cr} < 2.63 \frac{D}{\alpha} \text{ donde el valor } \alpha$$

esta determinado en la Tabla 11.

Tabla 11

Parámetros de Resorte según el tipo de extremos

Condición de extremo	Constante α
Resorte apoyado entre superficies planas paralelas (extremos fijos)	0.5
Un extremo apoyado por una superficie plana perpendicular al eje del resorte (fijo) ; el otro extremo con pivote (articulado)	0.707
Ambos Extremo con pivote (articulados)	1
Un extremo sujeto; el otro libre	2

Fuente: (Shigley, 1985)

En este caso la constante α tomará un valor de 0.5 ya que los extremos del resorte están apoyados entre superficies planas paralelas.

$$(L_0)_{cr} < 2.63 \frac{D}{\alpha} < 2.63 \frac{6.79}{0.5} = 35.72 \text{ mm}$$

Finalmente, para obtener la frecuencia crítica de trabajo del resorte se debe conocer el peso específico del acero (γ) el cual tiene un valor 76.93 N/m³. Por lo tanto.

$$W = \frac{\pi^2 d^2 D N_\alpha \gamma}{4} = \frac{\pi^2 \cdot 0.0025^2 \cdot 0.00679 \cdot 33 \cdot 76.93}{4} = 2.66E - 4 \text{ N}$$

Suponiendo que los extremos del resorte siempre están en contacto con las placas.

Wolford y Smith demuestran que la frecuencia está dada por:

$$f_n = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{kg}{W}} \text{ [Hz]} = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{36431 \cdot 9.8}{2.66E - 4}} = 18312.51 \text{ Hz}$$

La frecuencia crítica fundamental debe ser de 15 a 20 veces la frecuencia de la fuerza o movimiento del resorte, con objeto de evitar la resonancia con las armónicas. Si la frecuencia no resulta suficientemente alta, el resorte tiene que diseñarse de nuevo para incrementar k o disminuir W .

$$f_n \geq 20 \cdot \left(34000 \text{vpm} \cdot \frac{1 \text{min}}{60 \text{s}} \right)$$

$$f_n \geq 11333.33 \text{ Hz}$$

La inspección de los resultados muestra que se no se satisface casi ninguna condición de diseño por lo que se procede a repetir el proceso usando otros tipos de alambre disponibles y desarrollando en la Tabla 12:

Tabla 12

Resultado de Interacciones con diámetros estándar para cálculo de resorte

Parámetros	Datos					
D (diámetro de alambre)	2,5	2,8	3	3,5	3,65	4
D (diámetro de resorte)	6,79	11,31	14,77	25,61	29,54	40,09
DI (diámetro interno)	4,29	8,51	11,77	22,11	25,89	36,09
DE (diámetro externo)	9,29	14,11	17,77	29,11	33,19	44,09
C (índice del resorte)	2,72	4,04	4,92	7,32	8,09	10,02
Na (espiras activas)	33	11	7	2	2	1
Nt (espiras totales)	35	13	9	4	4	3
p (paso)	2,7	3,3	3,9	5,9	6,8	9,5
Ls (longitud solida)	90,09	39,93	28,97	18,79	17,61	16,21
Lo (longitud libre)	95,84	45,68	34,72	24,54	23,36	21,96
(Lo)cr (longitud crítica)	35,72	59,48	77,69	134,69	155,39	210,90
fn (frecuencia crítica)	18312,52	21703,26	23049,59	25162,60	25596,05	26395,12

Se observa que ninguno de los diámetros satisface las restricciones dadas. El alambre con 3mm de diámetro es el más cercano a satisfacer la mayor parte de los requisitos. El valor de =

17.77 se puede considerar; posiblemente darles soporte a los resortes durante el servicio. Sin embargo, debe hacerse notar la estricta restricción sobre $L_0=34.72\text{mm}$ a $L_0>70\text{mm}$. Ya que las condiciones de ensamble no permiten que este valor pueda alterarse de mayor manera se descarta el uso de resortes como opción para el diseño de apoyos del canal vibratorio de alimentación.

Como segunda opción se tomó en cuenta según las cargas producidas por el vibrador neumático el posible acoplamiento mecánico flexible.

Para la selección de acoplamiento flexibles se tiene encuentra que el canal produce una carga axial ligera y angular ligera debido a la frecuencia de trabajo y la fuerza centrífuga del actuador neumático. A continuación, se muestra en la figura 18 los diferentes tipos de desalineaciones de ejes que se pretende corregir mediante un acople flexible.

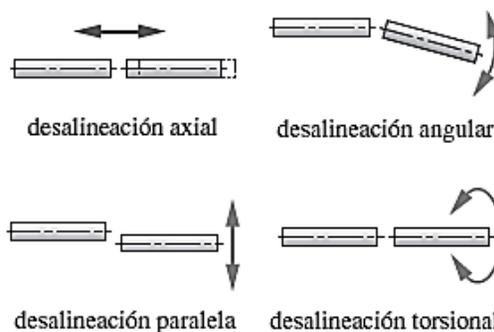


Figura 18 Tipos de Desalineamientos en Ejes
Fuente: (Norton, 1999)

En un acoplamiento flexible sería deseable la tolerancia a la torsión, si el impulsor se debe aislar de cargas de choque o vibraciones de torsión grandes. Los acoplamientos flexibles se dividen en varias subcategorías, que se listan en la Tabla 13, junto con algunas de sus características. (Norton, 1999)

Tabla 13
Características de Varios Tipos de Acoplamientos

Clase	Desalineación tolerada				Comentarios
	Axial	Angular	Paralela	Torsional	

Rígida	grande	ninguna	ninguna	ninguna	requiere alineación precisa
Quijada	ligera	ligera (<2°)	ligera (3% d)	moderada	absorción de choque; juego significativo
Engrane	grande	ligera (<5o)	ligera (< 1/2% d)	ninguna	juego ligero; gran capacidad de torque
Ranura	grande	ninguna	ninguna	ninguna	juego ligero; gran capacidad de torque
Helicoidal	ligera	grande (20°)	ligera (< 1% d)	ninguna	una pieza, compacta; sin juego
Fuelle	ligera	grande (17°)	moderada (20% d)	ninguna	absorción de choque; sin juego
Disco Flexible	ligera	ligera (3°)	ligera (2% d)	de ligera a ninguna	sujeto a falla por fatiga
Eslabón (Schmidt)	ninguna	ligera (5°)	grande (200% d)	ninguna	sin juego; sin cargas laterales sobre el eje
Hooke	ninguna	grande	grande (en pares)	ninguna	juego ligero; variación de rapidez a menos que se use en pares
Rzeppa	ninguna	grande	ninguna	ninguna	velocidad constante

Fuente: (Norton, 1999)

Se fabrican numerosos diseños de acoplamientos con tolerancia y cada uno ofrece una combinación de características diferentes. El diseñador generalmente encuentra el acoplamiento comercial adecuado para cualquier aplicación. (Norton, 1999)

Por lo anteriormente descrito podemos observar que según los parámetros antes mencionados de las cargas producidas por el actuador, descripción y características de los diferentes acoples flexibles podemos concluir que la mejor opción es el acople por disco flexible.

Los acoplamientos de Disco Flexibles consisten en dos mazas están conectadas por un elemento con tolerancia (disco), como un elastómero o un resorte metálico. Esto permite desalineación axial, angular y paralela, además de alguna tolerancia a la torsión con un poco o nada de juego. (Norton, 1999)

Finalmente se optó por seleccionar el acople flexible tipo disco o mounts como opción para apoyo de canal vibratorio de alimentación, el cual, será manufacturado de manera que

cumpla con las condiciones de diseño y según la dureza del elastómero, la intensidad y dirección de la carga seleccionado un acople macho – hembra, que se puede observar en la Figura 19



Figura 19 Disco flexible para soporte de canales vibratorios

3.1.2.3 Etapa de Transporte

A. Canales Vibratorios de Transporte

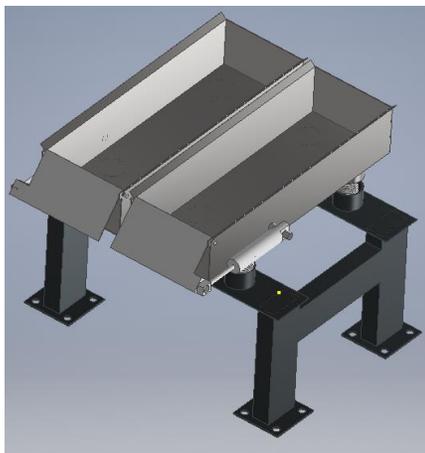


Figura 20 Esquema de Canal Vibratorio de Transporte

Estos canales funcionan de forma independiente donde su función es distribuir el producto a las tolvas de dosificación, y de igual manera que el canal vibratorio de alimentación posee

similares características tanto en peso, función por lo que se opta por la misma selección de actuador y diseño de apoyos de este.

La única diferencia entre el canal vibratorio de alimentación y los canales vibratorios de transporte es que poseen compuertas que dejan que el producto pase o no hacia las tolvas de dosificación. Las compuertas serán activadas mediante micro-pistones que controlarán la apertura y cierre de las mismas.

Para la selección del pistón de apertura de las compuertas donde la fuerza no es un parámetro crítico dentro del diseño, basta con elegir la carrera adecuada para la selección del cilindro neumático. De acuerdo con el mercado y a la adquisición a nivel nacional se logró conseguir un pistón CJ2B16-50, en unidades métricas con un diámetro de émbolo de 16mm y una carrera de 50mm. En el Anexo Figura 68 se detallas la hoja técnica del pistón seleccionado.

También al contarse con una cantidad considerable de elementos neumáticos se debe tomar en cuenta el consumo de aire consumido por el pistón. Para realizar el respectivo cálculo se deben utilizar la siguiente ecuación:

$$Q = 2 \cdot n \cdot s \cdot q \quad (29)$$

Donde:

Q =Consumo de Aire $\left(\frac{l}{min}\right)$

n =Número de ciclos por minuto

s = Carrera (cm)

q =Consumo específico de aire $\left(\frac{l}{cm}\right)$

Se sabe que el proceso de dosificación el pistón debe trabajar 10 ciclos por minuto, esto se debe a que el proceso de empaclado de la maquina saca 10 empaques por minuto es decir que el pistón deberá trabajar a su mismo ritmo y el consumo específico de aire es de 0.013 l/cm esta

dado en el diagrama de los Anexos Figura73. Entonces tenemos que el consumo de aire del pistón es de:

$$Q = 2 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 0.013$$

$$Q = 1.3 \frac{l}{min}$$

3.1.1.4 Etapa de Dosificación

A. Tolvas de Dosificación

- Dimensionamiento de Tolva de Dosificación

Se sabe que las fundas podrán alcanzar un máximo de 200g, según los requerimientos de la empresa. Para ello se diseña una tolva con las siguientes dimensiones y especificaciones.

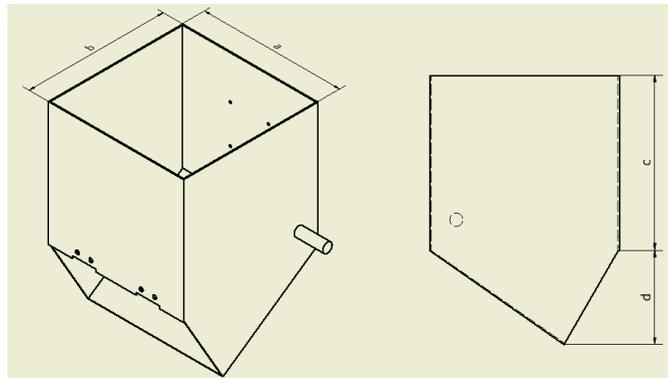


Figura 21 Dimensionamiento de Tolva de Dosificación

$$a = 140 \text{ mm}$$

$$b = 139 \text{ mm}$$

$$c = 130 \text{ mm}$$

$$d = 70 \text{ mm}$$

$$V_i = \frac{b \cdot d}{2} \cdot a + (a \cdot b \cdot c) \quad (30)$$

(Ver Anexo Figura 64)

Donde:

V_i = Volumen interno de la tolva

Entonces:

$$V_i = \frac{139 \cdot 70}{2} \cdot 140 + (140 \cdot 139 \cdot 130)$$

$$V_i = 3210900 \text{ mm}^3 = 3210.9 \text{ cm}^3$$

Sabemos que la densidad del producto es de 0.145 g/cm^3 . Entonces:

Si sabemos que:

$$m_T = \rho_p \cdot V_i \quad (2)$$

Donde:

m_T = Masa total almacenada

ρ_p = Densidad de producto

Entonces:

$$m_T = 0.145 \cdot 3210.9 = 464.3 \text{ g}$$

Dado que la capacidad máxima requerida de la tolva está diseñada en función del llenado de las fundas podemos concluir que se puede realizar fundas hasta de 464.3g de contenido sin embargo hay que tomar en cuenta el tamaño de las fundas en el empaquetado lo que limitaría el peso de las fundas, en conclusión, se cumple con el requerimiento de la empresa.

- **Calculo del Peso de la Tolva de Dosificación**

Para realizar el cálculo del peso tolva se calcula un volumen externo de la tolva (V_e) en donde se toma en cuenta el 1mm de espesor y densidad de la plancha de acero inoxidable.

Donde:

$$a = 142 \text{ mm}$$

$$b = 141 \text{ mm}$$

$$c = 130 \text{ mm}$$

$$d = 70 \text{ mm}$$

$$V_i = \frac{b \cdot d}{2} \cdot a + (a \cdot b \cdot c) \quad (30)$$

(Ver Anexo Figura 64)

Por lo tanto:

$$V_i = \frac{141 \cdot 70}{2} \cdot 142 + (142 \cdot 141 \cdot 130)$$

$$V_i = 3303630 \text{ mm}^3 = 3303.63 \text{ cm}^3$$

Sabiendo que el volumen ocupado por solo la plancha de acero inoxidable que ocupa la tolva de alimentación. Se obtiene que:

$$V_T = V_e - V_i$$

$$V_T = 3303.63 \text{ cm}^3 - 3210.9 \text{ cm}^3 = 92.73 \text{ cm}^3$$

Se calcula el peso neto de la tolva conociendo que la densidad del acero inoxidable es de 7.8 g/cm^3 (ver Anexo Figura 66). Por lo tanto.

$$m = d_{inox} \cdot V_T \quad (3)$$

Donde:

m = Masa de la tolva de alimentación.

ρ_{inox} = Densidad de acero inoxidable

Entonces:

$$m = 7.8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 92.73 \text{ cm}^3$$

$$m = 723 \text{ g} = 0.723 \text{ Kg}$$

- **Compuerta de Dosificación**

De la misma manera que en los canales de vibratorios de transporte, las tolvas de dosificación cuentan con compuertas. Las compuertas serán activadas mediante micro-pistones que controlarán la apertura y cierre de las mismas.

Para la selección del pistón de apertura de las compuertas donde la fuerza no es un parámetro crítico dentro del diseño, basta con elegir la carrera adecuada para la selección del cilindro neumático. De acuerdo con el mercado y a la adquisición a nivel nacional se logró conseguir un pistón CJ2B16-80, en unidades métricas con un diámetro de émbolo de 16mm y una carrera de 80mm. En el Anexo Figura 69 se detallas la hoja técnica del pistón seleccionado.

Para realizar el respectivo cálculo de consumo de aire se deben utilizar la siguiente ecuación:

$$Q = 2 \cdot n \cdot s \cdot q \quad (29)$$

El pistón seleccionado varia del pistón colocado en las compuertas del canal vibratorio de transporte solo en su carrera, por ende, del consumo especifico de aire se mantiene a la igual manera que los ciclo que debería cumplir para una dosificación optima, por tanto, el cálculo de consumo de aire del pistón es:

$$Q = 2 \cdot 10 \cdot 8 \cdot 0.013$$

$$Q = 2.08 \frac{l}{min}$$

3.1.3 Análisis de Bastidor de Dosificador

Se simula las cargas aplicadas a la estructura general que servirá de soporte para todos los elementos que conforman el sistema de dosificación. (Ver Figura 22)

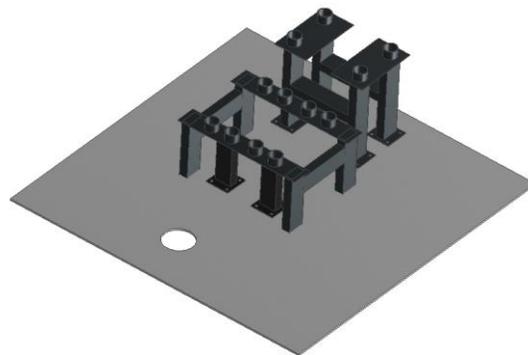


Figura 22 Bastidor para Sistema de Dosificación

- **Bastidor para Canal Vibratorio de Alimentación**

Se presenta el análisis de cargas de la estructura que servirá de bastidor al canal vibratorio de la etapa de alimentación se acoplarán al dosificador para la unión de este, haciendo uso de un software de simulación como se indica en la Figura 23. La estructura se la realiza en acero ASTM A36, para un tubo rectangular de 40x30. Donde la carga total aproximado es de 1.8 kg más 2kg del producto que se distribuirá y no deberá excederse, entonces, la carga total a soportar el bastidor para canal vibratorio es de 21.33 N distribuido para los 4 ejes de apoyo del canal lo que da un total de 6.63N por punto de apoyo.

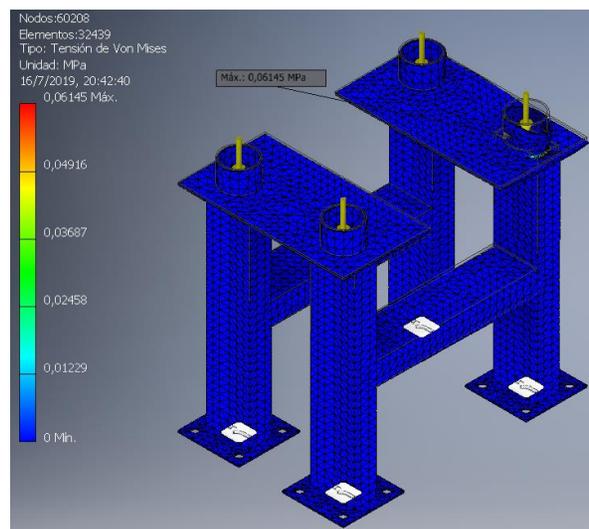


Figura 23 Simulación de Carga al Bastidor para Canal de Alimentación

Simulación de la carga aplicada al bastidor, donde la curva de convergencia del soporte de la tensión de Von Mises (Figura 24). Indica que, realizado el análisis de elementos finitos, implementado hasta 32439 elementos en donde se obtuvo una variación mínima en el resultado de la tensión soportada por la carga de la tolva que viene a estar dado por 0.06145MPa con un error de 5.43% en relación con la curva de convergencia de la tolva.

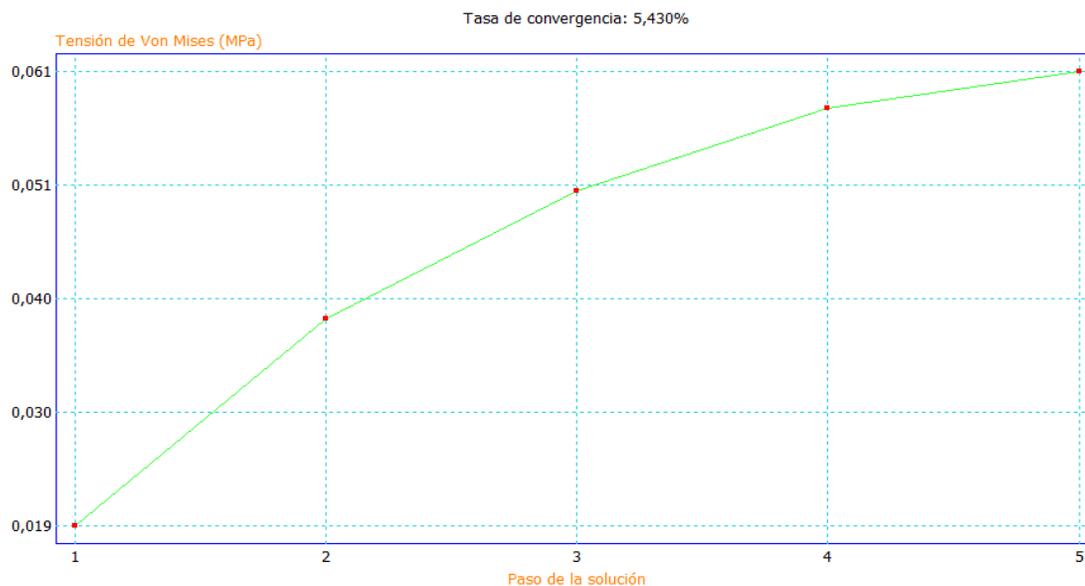


Figura 24 Curva de Convergencia de Bastidor del Canal Vibratorio de Alimentación

- **Bastidor para Canales Vibratorios de Transporte**

Se presenta el análisis de cargas de la estructura que servirá de soporte a los canales vibratorios de la etapa de transporte se acoplarán al dosificador para la unión de este, haciendo uso de un software de simulación como se indica en la Figura 25. La estructura se la realiza en acero ASTM A36, para un tubo rectangular de 40x30. Donde la carga total aproximado es de 1.9 kg más 2kg del producto que se distribuirá y no deberá excederse, entonces, la carga total a soportar el bastidor para canal vibratorio es de 21.5N distribuido para los 4 ejes de apoyo del canal lo que da un total de 6.8N por punto de apoyo.

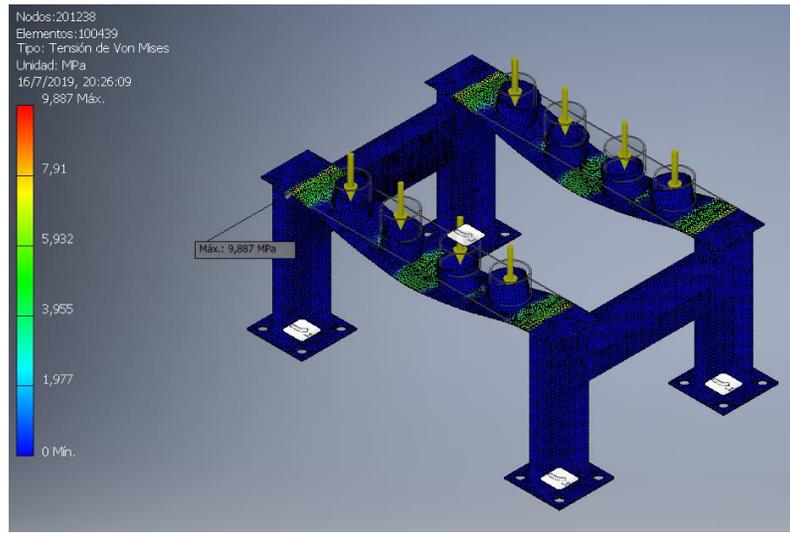


Figura 25 Simulación de Carga al Bastidor para Canales Vibratorios de Transporte

Simulación de la carga aplicada al bastidor, donde la curva de convergencia del soporte de la tensión de Von Mises (Figura 26). Indica que, realizado el análisis de elementos finitos, implementado hasta 100439 elementos en donde se obtuvo una variación mínima en el resultado de la tensión soportada por la carga de la tolva que viene a estar dado por 9.887MPa con un error de 6.037% en relación con la curva de convergencia de la tolva.

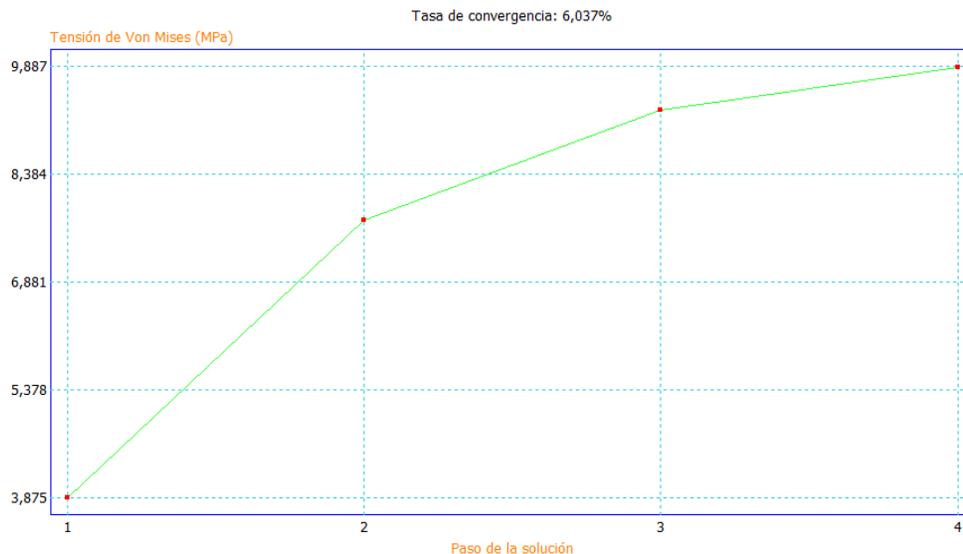


Figura 26 Curva de Convergencia de Bastidor de Canal Vibratorio de Transporte

- **Bastidor para Tolvas de Dosificación**

Se presenta el análisis de cargas de la estructura que servirá de soporte a las tolvas de dosificación se acoplarán al dosificador para la unión de este, haciendo uso de un software de simulación como se indica en la Figura 27. La estructura se la realiza en acero ASTM A36, para un tubo rectangular de 30x40. Donde la carga total aproximado es de 1.343 kg más por lo tanto la carga total a soportal el bastidor para la tolva de dosificación es 13.16N puntuales colocados como se observa en la Figura 27.

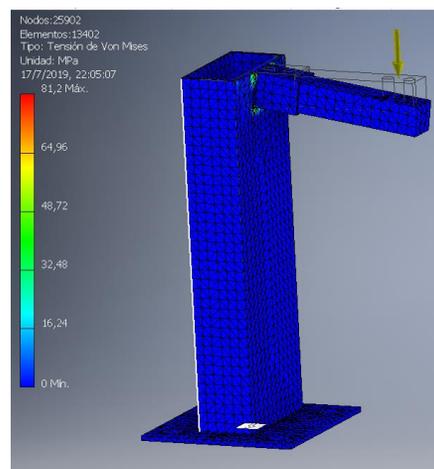


Figura 27 Simulación de Carga al Bastidor para Tolvas de Dosificación

Simulación de la carga aplicada al bastidor, donde la curva de convergencia del soporte de la tensión de Von Mises (Figura 28). Indica que, realizado el análisis de elementos finitos, implementado hasta 13402 elementos en donde se obtuvo una variación mínima en el resultado de la tensión soportada por la carga de la tolva que viene a estar dado por 81.2MPa con un error de 3.191% en relación con la curva de convergencia de la tolva.

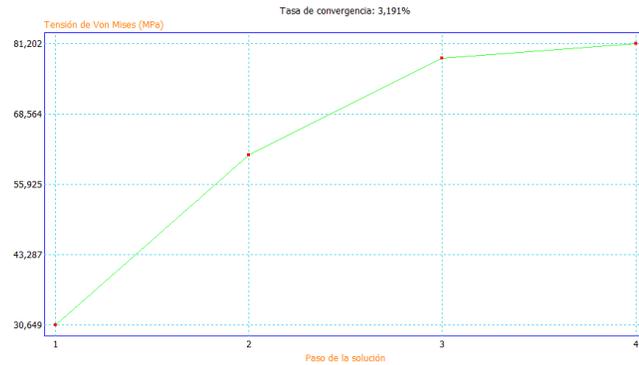


Figura 28 Curva de Convergencia de Bastidor para Tolvas de Dosificación

3.1.4 Sistema de Distribución Neumática

A continuación, en la Figura 29 se presenta el esquema de distribución neumática tanto para la parte de dosificación y la parte de empacado.

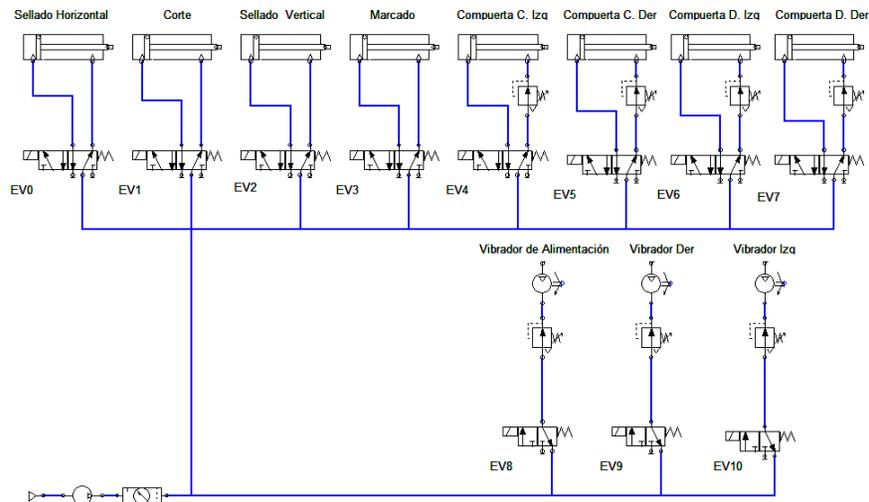


Figura 29 Diagrama de Distribución Neumática de Máquina Empacadora

Cabe recalcar que por la gran cantidad de elementos neumáticos se tiene que tomar en consideración el consumo de aire que cada uno de estos. Ya que puede causar repercusiones en la fuente de alimentación de aire. Por lo tanto, se calcula el consumo de aire de los demás pistones utilizando la ecuación anterior.

$$Q = 2 \cdot n \cdot s \cdot q \quad (29)$$

- **Pistón de Sellado Horizontal**

El pistón de sellado horizontal posee un émbolo de 40mm y una carrera de 80mm. Sus especificaciones más a detalle se pueden encontrar en los Anexos Figura 71.

Se sabe que el proceso debe trabajar mínimo 10 ciclos por minuto y el consumo específico de aire es de 0.09 l/cm esta dado en el diagrama de los Anexos Figura 73. Entonces tenemos que el consumo de aire del pistón es de:

$$Q = 2 \cdot 10 \cdot 8 \cdot 0.09$$

$$Q = 14.4 \frac{l}{min}$$

- **Pistón de Sellado Vertical y Corte**

Tanto el pistón de sellado vertical y el pistón de corte tiene las mismas características, es decir, tienen un émbolo de 16mm y una carrera de 25mm. Sus especificaciones más a detalle se pueden encontrar en los Anexos Figura 72.

Se sabe que el proceso debe trabajar mínimo 10 ciclos por minuto y el consumo específico de aire es de 0.013 l/cm esta dado en el diagrama de los Anexos Figura 73. Entonces tenemos que el consumo de aire del pistón es de:

$$Q = 2 \cdot 10 \cdot 2.5 \cdot 0.013$$

$$Q = 0.65 \frac{l}{min}$$

- **Consumo Total de Aire**

Conociendo que existen 3 vibradores neumáticos cuyo consumo de aire es de 92 l/min cada uno, 2 cilindros neumáticos $\phi 16 \times 50$ para la apertura de las compuertas de los canales, con un consumo de aire de 1.3 l/min cada uno, 2 cilindros neumáticos $\phi 16 \times 80$ para la apertura de las compuertas de las tolvas de dosificación, con un consumo de aire de 2.08 l/min cada uno, 2 cilindros neumáticos $\phi 16 \times 25$ para sellado vertical y corte, con un consumo de aire de 0.65 l/min

cada uno y 1 cilindro neumático $\phi 40 \times 80$ para sellado horizontal, con un consumo de aire de 14.4 l/min. Teniendo un consumo total de:

$$Qt = 3(92) + 2(1.3) + 2(2.08) + 2(0.65) + 1(14.4)$$

$$Qt = 298.46 \frac{l}{min}$$

3.2 Subsistema Electrónico

3.2.1 Acondicionamiento de la señal

- **Sensor de Peso**

Para el acondicionamiento de señal, primero se debe tener en cuenta el sensor que se utiliza para la medición de peso requerido de las fundas, partiendo de la premisa que el rango de peso que debería tener el sensor deberá ser el peso dado por la tolva de dosificación, pistón de apertura de compuerta, la compuerta y el peso del producto contenido en la tolva cuyos pesos aproximados son de 723g, 200g, 20g y 400g respectivamente. Dando un total de carga de 1343g por lo que se debería seleccionar una celda de carga que tenga un rango entre los 0 – 2 kg.

El sensor de peso seleccionado es una celda de carga que es un transductor capaz de convertir una fuerza en una señal eléctrica, esto la hace a través uno o más galgas internas que posee, configuradas en un puente Wheatstone.

Una vez determinado la carga máxima que deber soportar la celda de carga y un breve análisis de disponibilidad en el mercado se ha hallado una celda de carga que soporta 3Kg cuya especificación técnica se detalla en el Anexo Figura 73



Figura 30 Celda de Carga de 3Kg
Fuente: (Electroshop, 2019)

- **Selección de Alternativas para Acondicionamiento de Señal**

Tabla 14

Alternativas de Acondicionamiento de Señal

Alternativas	Exactitud	Costo Aproximado	Señal de Salida
Amplificadores Operacionales	+/- 3%	Aproximadamente \$8	-analógica
Modulo Celda de Pesaje	+/- 0.05%	Aproximadamente \$20	-digital

Fuente: (Naylamp, 2019)

- **Parámetros de Evaluación para Acondicionamiento de Señal**

A. Exactitud

El parámetro de exactitud es un parámetro principal en el momento de seleccionar el acondicionamiento porque se busca obtener el peso más aproximado con respecto al valor verdadero.

B. Costo

Para realizar la adquisición se toma en cuenta el costo, disponibilidad y accesibilidad para la selección más conveniente para el acondicionamiento de señal.

C. Señal de salida

Este parámetro permite obtener los valores necesarios realizar la comparación con el peso para su respectivo procesamiento. Y dependerá si este parámetro requerirá de un procesamiento posterior de los datos.

- **Selección de Alternativas para Acondicionamiento de Señal**

En base a la Tabla 14 que tanto la exactitud del acondicionamiento con amplificadores y el módulo celda de carga entran en un rango aceptable para la dosificación necesario que según el estándar de calidad en producto empacados el contenido neto podría variar en un 5%.

En lo referente a costos los dos tipos de acondicionamientos poseen un costo admisible y se lo puede encontrar fácilmente en el mercado nacional.

El parámetro determinante para la selección del tipo de acondicionamiento de la señal de la celda de carga será la señal de salida del acondicionamiento, ya que nosotros tener un PLC s7-1200 al poseer 2 entradas analógicas 0-10V que se encargan de la lectura de las celdas de carga, por ende es necesario el acondicionamiento con una salida analógica, en conclusión se toma como mejor alternativa el acondicionamiento por amplificadores operacionales ya que no necesita de ningún tipo de etapa extra como con el módulo de celda de pesaje en donde se necesita tratar la salida digital que entrega para nuevamente convertirlo en una salida analógica y poder vincular la celda de carga con el controlador.

3.2.2 Diseño de Circuito de Acondicionamiento

Se conoce que la celda de carga soporta una alimentación de hasta 5V y conocemos que nos entrega una señal de salida en el orden de los mV por lo que se debe acondicionar de tal manera que la señal recibida a las entradas analógicas del PLC pueda tener un rango de 0 a 10V, lo que determinara el diseño del circuito de acondicionamiento.

Primero se debe amplificar la señal entrada por la celda de carga para ello utilizamos el amplificador de instrumentación AD620 cuya característica es especial es que puede amplificar la señal de entrada con una ganancia de 1 a 10000 la cual será configurada por una resistencia que se conecta entre los pines 1 y 8 y la relación existente entre la resistencia R_G y la ganancia de amplificación está dada por la siguiente ecuación:

$$G = \frac{V_o}{V_i} = \frac{49.4K\Omega}{R_G} + 1 \quad (31)$$

Donde:

G = Ganancia

V_o = Voltaje de salida

V_i = Voltaje de entrada

R_G = Resistencia de ganancia

Por lo tanto, sabiendo que el voltaje de salida necesario debería ser máximo de 10V que es el rango que admite la entrada analógica del PLC y conociendo la salida nominal de la celda que es $1 \pm 0.25\text{mV/V}$, es decir, que con una alimentación de 5V a la celda de carga la salida nominal de la celda es 6.25mV para una carga nominal de 3Kg, entonces el cálculo de la resistencia de ganancia estar dado por.

$$R_G = \frac{49.4K\Omega}{\frac{V_o}{V_i} - 1}$$

$$R_G = \frac{49400}{\frac{10}{0.00625} - 1} = 31\Omega$$

Sabemos que el integrado de instrumentación AD620 necesita una alimentación de trabajo de $\pm 12\text{V}$ y la celda de carga necesita una alimentación de +5V, por lo que necesitamos reducir la alimentación de +12V a +5V. En la Figura 31 se puede observar el circuito diseñado.

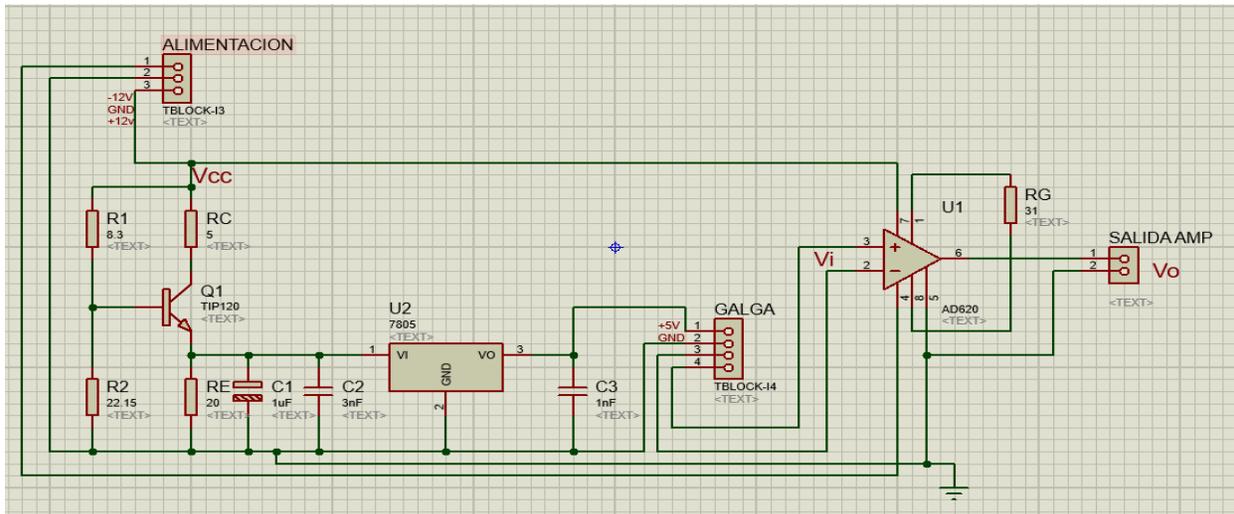


Figura 31 Esquema Circuito de Acondicionamiento Para Celda de Carga

Para la regulación de alimentación de la celda de carga utilizamos el TIP-142 configurada como emisor común utilizado para amplificación y regulación de tensión y corriente. Para esto se requiere controlar el voltaje suministrado en base para que la caída de voltaje en la resistencia R_e sea de 6.5V el cual pasara al regulador de voltaje 7805 para su estabilización. Para ello se calculará las resistencias R_1 y R_2 que suministran dicho voltaje.

$$V_{R2} = V_{cc} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \quad (32)$$

$$V_{R2} = 0.6 + I_e * R_e \quad (33)$$

$$I_c \cong I_e \quad (34)$$

$$V_c = I_c * R_c \quad (35)$$

$$V_e = I_e * R_e \quad (36)$$

Datos

$$V_{cc} = 12V$$

$$V_{Re} = 6.5V$$

$$R_e = 20\Omega$$

$$R_c = 5\Omega$$

$$V_e = I_e * R_e$$

$$I_e = \frac{V_e}{R_e} = \frac{6.5V}{20\Omega} = 325mA$$

$$I_c \cong I_e$$

$$I_c \cong 325mA$$

$$V_c = I_c * R_c$$

$$V_c = 325mA * 5\Omega$$

$$V_c = 1.625V$$

$$V_{R2} = 0.6 + I_e * R_e$$

$$V_{R2} = 0.6V + 6.5V$$

$$V_{R2} = 7.1V$$

$$I_{R2} = I_e$$

$$R_{R2} = \frac{V_{R2}}{I_{R2}} = \frac{7.1V}{325mA} = 21.84\Omega$$

$$V_{R2} = V_{cc} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

$$7.2V = 12V \left(\frac{R_1}{R_1 + 21.84\Omega} \right)$$

$$R_1 = 8.3\Omega$$

El capacitor C1 se usará para la estabilización de salida de voltaje de la resistencia Re y los capacitores C2 y C3 son para el correcto funcionamiento del regulador de voltaje ya que el fabricante especifica que la capacitancia de C2 debe ser 3 veces mayor a la capacitancia de C3.

Finalmente, para evitar ruido mecánico producido por la vibración propia de la máquina y aprovechando la rapidez de procesamiento del PLC. Se utiliza un filtro de media móvil, en donde, se toma de 10 valores de peso a través del tiempo; durante un tiempo de 600ms y se promedia dichos valores para obtener un único valor el cual será el peso filtrado. Este proceso ayudara a que se eliminen ruidos de alta frecuencia que se puedan dar por factores externos y suavizar picos que se puedan producir en la señal de salida del sensor. En la Figura 32 podemos

observar la aplicación del filtro dentro de la lógica de control de la máquina; donde se visualiza la inserción de un TIMER TP que provoca cada uno de los pulsos para la toma de datos en el filtro para posterior los bloques MOVE que tomaran cada uno de los valores cada 50ms para finalmente realizar el promedio y resetear finalmente el TIMER y resetear el filtro para los nuevos valores que ingresen, es decir que se tendrá una actualización de valor de peso cada 600ms realizado por el sensor.

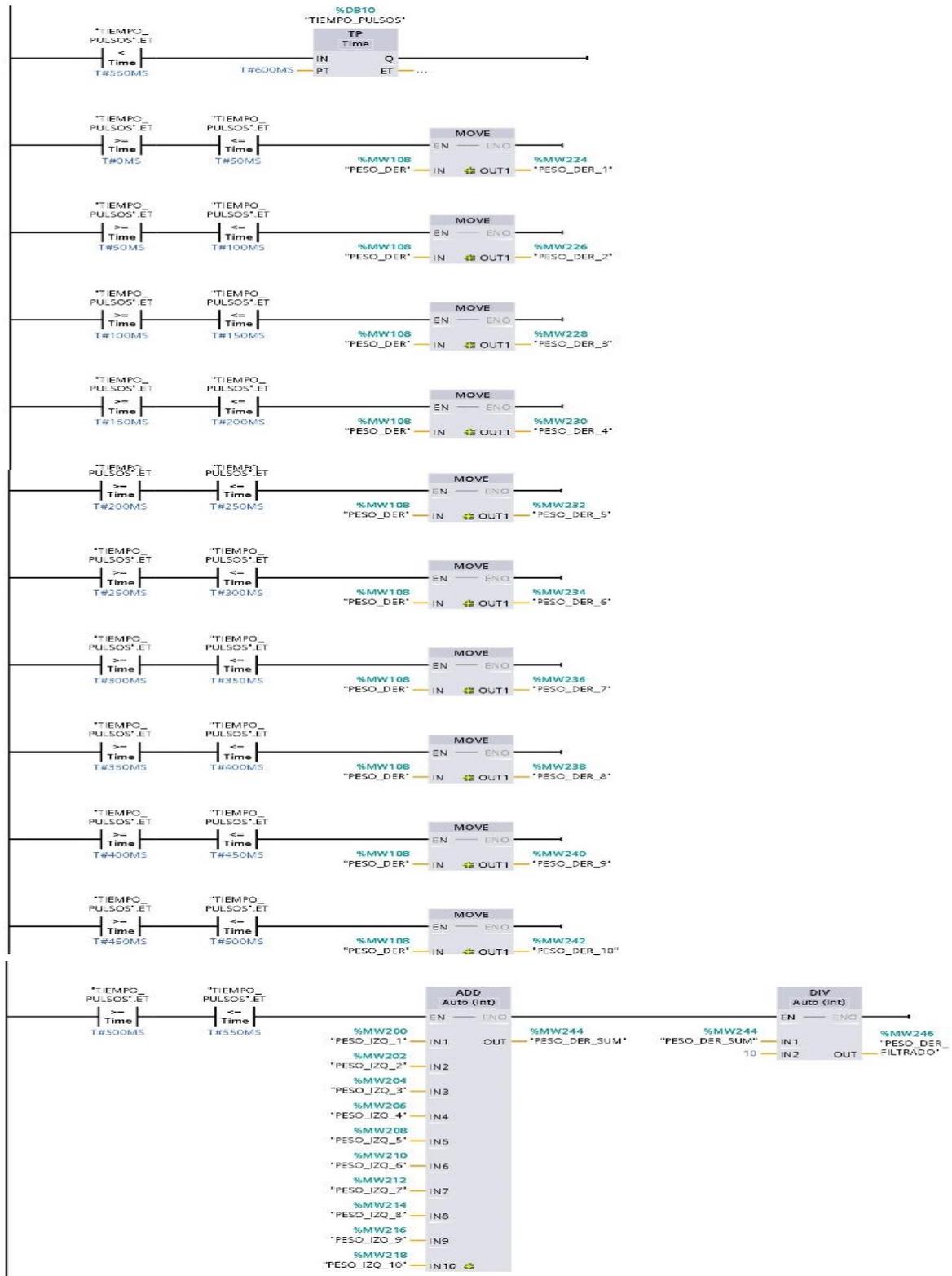


Figura 32 Aplicación de Filtro de Media Móvil

En la Figura 33 se puede observar el resultado de la aplicación del filtro de la lógica de control en donde la línea de color verde representa la gráfica de la toma de datos a través del tiempo antes del filtro y la línea tomate son los datos adquiridos después del filtro, donde se puede denotar la clara atenuación de los picos realizados por la vibración de la máquina.



Figura 33 Resultados de la aplicación del filtro de media móvil

3.3 Subsistema Control

3.3.1 Sistema Eléctrico

A continuación, se presenta el esquema de distribución eléctrica de potencia, control y conexión del PLC, donde podemos destacar que las partes implementadas para el dosificador son recalçadas a detalle a continuación.

En la figura 34 podemos ver el esquema eléctrico de potencia de la empacadora donde no se ha alterado ninguna conexión al momento de la implementación del dosificador.

El switch SW1 es el encargado de la alimentación general de la máquina, mediante la activación de los contactos KT del contactor de potencia se enciende el motor para el mecanismo de arrastre empieza a oscilar; también se puede observar las activaciones de las diferentes niquelinas para el sellado de las fundas mediante los contactos KA y KB pertenecientes a los relés de los controles de temperatura digitales CDT1 y CDT2 descritos en el diagrama de control.

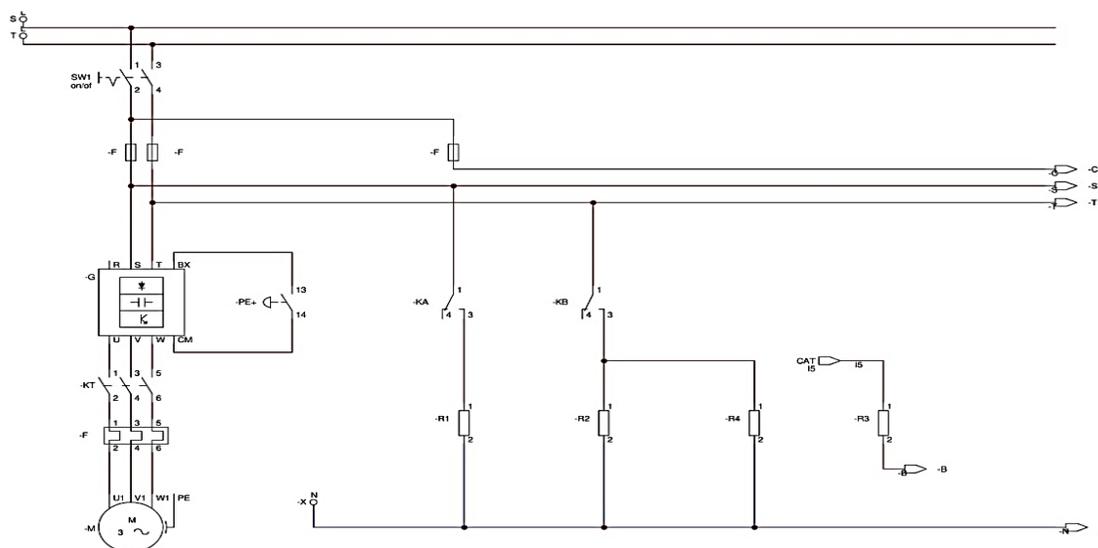


Figura 34 Esquema Eléctrico de Potencia de Empacadora

En la figura 35 se puede visualizar el esquema de control de la maquina donde se destaca la añadidura de la conexión de las diferentes electroválvulas. Ya que el sistema trabaja con alimentación 110 VAC se ha seleccionado las electroválvulas con alimentación de 110 VAC y con una potencia aparente de 2.5 VA donde las especificaciones técnicas se detallan en la Figura 84 de Anexos, la implementación de las electroválvulas corresponde al control de los pistones y vibradores neumáticos del sistema de dosificación.

También se puede visualizar el encendido de la bobina del contactor KT para el encendido del motor mediante el switch SW2 y cada una de las diferentes electroválvulas de toda la máquina con su respectivo contacto perteneciente a los relés (K0, K1, K2, K3, Ka, Kb, Kc, Kd, Ke, Kf, Kg), que son controlados por las salidas digitales del PLC. También posemos observar las diferentes conexiones correspondientes a los controles tanto digital (CDT1 y CDT2) y analógico (CAT) de temperatura para el control de las niquelinas de los procesos de sellado y marcado.

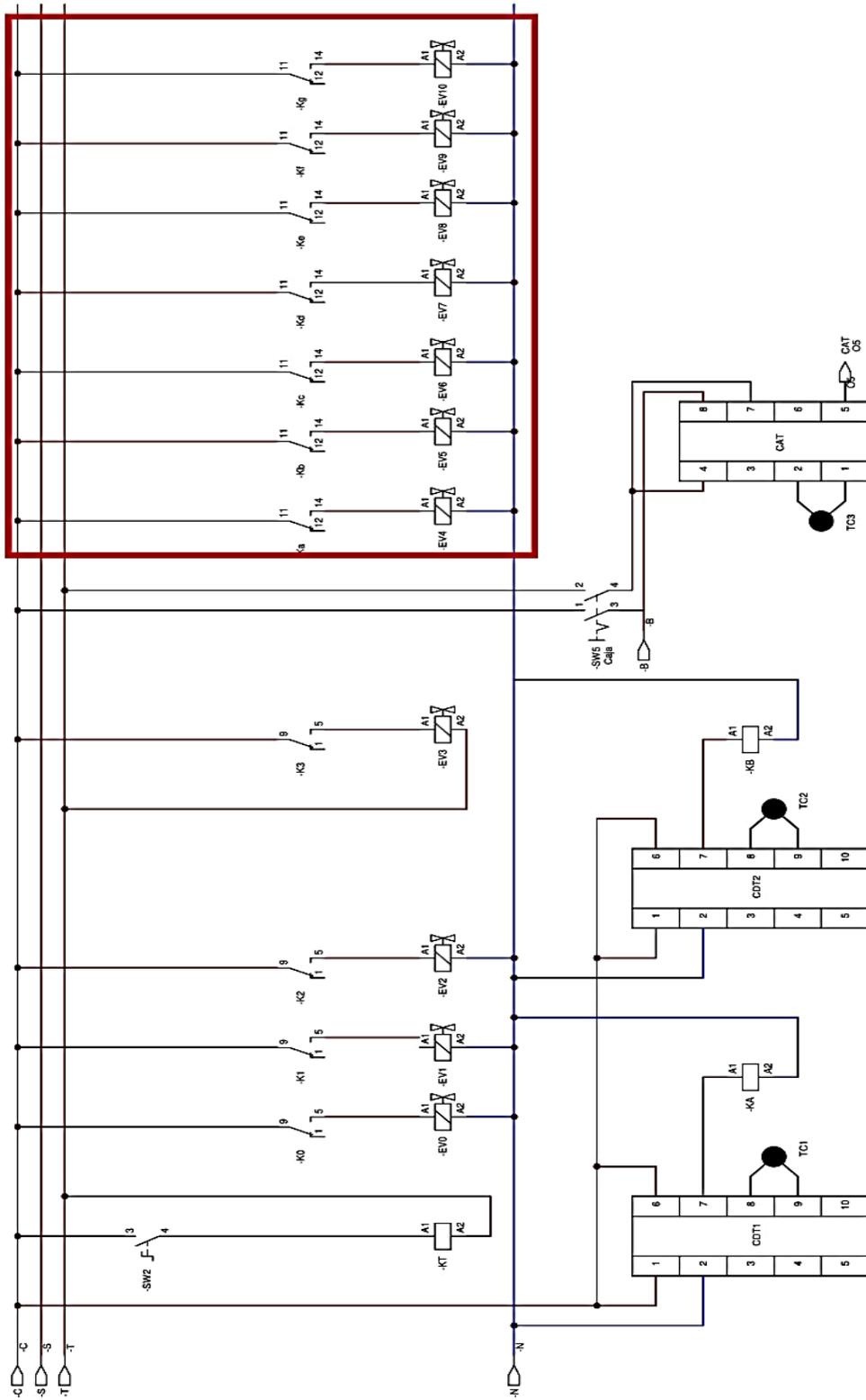


Figura 35 Esquema Eléctrico de Control de Empacadora

En la figura 36 se puede observar el esquema de conexión de control perteneciente al PLC. Donde se añade entradas respectivas como encendido general del proceso (SW3) el paro de emergencia (PE) y la conexión de los diferentes sensores como: el sensor inductivo (SI) que indica el estado del carro de arrastre, también el sensor de contrataste (SC) que indica el número de fundas que se ha empacado y también se puede observar la conexión de las celdas de carga (CC1 y CC2) del dosificador que hacen el respectivo pesaje según la lógica programada en el PLC. Finalmente, se puede visualizar la añadidura de los diferentes relés utilizados para el aislamiento entre las electroválvulas y el PLC. Los relés han sido seleccionados por la alienación que estos manejan y por la potencia que resistirán los contactos pertenecientes a la activación de las electroválvulas, conociendo el PLC maneja la alimentación de los contactos internos es de 110 VAC se debe considerar relés con una bobina que trabaje a 110 VAC; también se debe considerar que la potencia de las electroválvulas al ser de 2.5 VA por lo tanto la corriente que debe resistir los contactos de relé a seleccionarse esta dado por la siguiente formula:

$$I = \frac{S}{V} \quad (37)$$

Donde I será la corriente de la electroválvula, S la potencia aparente y V el voltaje de alimentación

Entonces:

$$I = \frac{2.5 \text{ VA}}{110 \text{ V}} = 22.73 \text{ mA}$$

Por lo tanto, es necesario un relé con alimentación de 110 VAC y la corriente en los contactos de al menos 22.73 mA, en consecuencia, se ha adquirido comercialmente unos relés con 110V de alimentación en la bobina y contactos que resisten hasta 2A donde sus

En la tabla 15 se detalla simbología, cantidad, denominación de los elementos existentes dentro de la maquina empacadora.

Tabla 15

Tabla de Descripción de Elementos Eléctricos

Simbología	Cantidad	Denominación
SW1	1	Interruptor, 2 contactos
F	3	Fusibles varios amperajes
G	1	Variador de frecuencia bifásico a trifásico
KT	1	Relé de potencia con protección térmica
M	1	Motor Trifásico
PE	1	Paro de Emergencia tipo hongo, 2 contactos
KA, KB	2	Relé 6A, 24/110V
R1, R2, R3, R4	4	Resistencia eléctricas (niquelinas)
SW2, SW3	1	Interruptor, 1 contacto
EV0, EV1, EV2, EV4, EV5, EV6, EV7	7	Electroválvula 5/2, 110V
EV3	1	Electroválvula 5/2, 220V
EV8, EV9, EV10	3	Electroválvula 3/2, 110V
CDT1, CDT2	2	Controles digitales de temperatura
TC1, TC2, TC3	3	Termocuplas PT-100
SW5	1	Interruptor Luminoso, contactos
SI	1	Sensor inductivo PNP NA
SC	1	Sensor de contraste PNP NA
VCC	1	Fuente alimentación corriente continua
CC1, CC2	2	Celdas de carga 3Kg
K0, K1, K2, K3	11	Relé 2A, 110V
Ka, Kb, Kc, Kd, Ke, Kf, Kg		
CPU	1	PLC Siemens S7-1200/1212C/AC/DC/RLY con módulo de expansión SN-1222 /8DO-RLY

3.3.2 Controlador Lógico Programable

La máquina empacadora al contar con su controlador lógico programable propio (PLC), se añadirá la lógica de programación correspondiente a la secuencia de pistones, actuadores neumáticos y adquisición de pesos de las fundas para que trabajen en conjunción con la parte de empacado para obtener una maquina optima y totalmente funcional.

Se cuenta con un PLC Siemens S7-1200 que contiene 8 entradas digitales, 2 analógicas y 6 salidas a relé. Conociendo que en el proceso de empacado requiere de 4 salidas para los

pistones de corte, marcado, sellado vertical y sellado horizontal. Sobrando así solo 2 salidas digitales las cuales son insuficientes para el control del proceso de dosificación por ende se decide colocar un módulo de expansión de salidas digitales para obtener las salidas requeridas para el dosificador.

El módulo obtenido según las especificaciones del fabricante cuya especificación técnica se detalla en el Anexo Figura 74. A continuación en la Tabla 16 se detalle la tabla de variables que intervienen en proceso tanto de empaqueo y dosificación dentro del controlador.

Tabla 16

Tabla de Variables de PLC

Entradas			
Nombre	Dirección	Comentario	Tipo
PARO_EMERGENCIA	%I0.0	Botón paro de emergencia	Digital
TEMP_SELLADO_VERTICAL	%I0.1	Indicador que la temperatura de sellado vertical llevo a su estado ideal	Digital
TEMP_SELLADO_HORIZONTAL	%I0.2	Indicador que la temperatura de sellado horizontal llevo a su estado ideal	Digital
POSICION_SUPERIOR_CARRIL	%I0.3	Sensor inductivo que indica la posición superior el carril de arrastre	Digital
SENSOR_MARCADO	%I0.4	Sensor óptico que indica el marcado de fechas de elaboración y producción en las fundas	Digital
CELDA_CARGA1	%IW64	Sensor peso 1 de la balanza derecha	Analógico
CELDA_CARGA2	%IW66	Sensor peso 2 de la balanza izquierda	Analógico
Salidas			
Nombre	Dirección	Comentario	Tipo
SELLADO_HORIZONTAL	%Q0.0	Pistón sellado horizontal	Digital
CORTE	%Q0.1	Pistón corte de las fundas	Digital
SELLADO_VERTICAL	%Q0.2	Pistón sellado vertical	Digital
MARCADO	%Q0.3	Pistón de marcado	
TEMP_LISTA	%Q0.4	Indicador que la temperatura del proceso de sellado se encuentra listo	Digital
CANAL_ALIMENTACION	%Q8.0	Vibrador para canal de alimentación	Digital
CANAL_DER	%Q8.1	Vibrador para canal derecho de transporte	Digital
CANAL_IZQ	%Q8.2	Vibrador para canal izquierdo de transporte	Digital
COMP_CANAL_DER	%Q8.3	Pistón para compuerta de canal derecho	Digital
COMP_CANAL_IZQ	%Q8.4	Pistón para compuerta de canal izquierdo	Digital
COMP_DOSIF_DER	%Q8.5	Pistón para compuerta de tolva de dosificación derecho	Digital
COMP_DOSIF_IZQ	%Q8.6	Pistón para compuerta de tolva de dosificación izquierdo	Digital
Memoria			

CONTINÚA →

AUX_ENCENDIDO	%M0.0	Auxiliar para encendido de la máquina	Memoria
AUX_PARO	%M0.1	Auxiliar para paro de emergencia de la máquina	Memoria
CALIBRACON_TEMP	%M0.2	Auxiliar para calibración de temperaturas de sellado de la máquina	Memoria
CALIBRACION_EMPACADO	%M0.3	Auxiliar para calibración de empacado de la máquina	Memoria
AUX_SELLADO_VERTICAL	%M0.4	Auxiliar pistón de sellado vertical	Memoria
AUX_CORTE	%M0.5	Auxiliar pistón de corte	Memoria
PESO1	%M0.6	Auxiliar para activación de peso requerido de celda derecha	Memoria
PESO2	%M0.7	Auxiliar para activación de peso requerido de celda izquierda	Memoria
AUX_CANAL_ALIMENTACION	%M1.0	Auxiliar para activación del vibrador del canal de alimentación	Memoria
AUX_CANAL_DER	%M1.1	Auxiliar para activación del vibrador derecho del canal de transporte	Memoria
AUX_CANAL_IZQ	%M1.2	Auxiliar para activación del vibrador izquierdo del canal de transporte	Memoria
AUX_COMP_CANAL_DER	%M1.3	Auxiliar para activación del pistón derecho del canal de transporte	Memoria
AUX_COMP_CANAL_IZQ	%M1.4	Auxiliar para activación del pistón izquierdo del canal de transporte	Memoria
AUX_COMP_DOSIF_DER	%M1.5	Auxiliar para activación del pistón derecho de tolva de dosificación	Memoria
AUX_COMP_DOSIF_IZQ	%M1.6	Auxiliar para activación del pistón izquierdo de tolva de dosificación	Memoria
CELDA NORMALIZADA1	%MD100	Normalización de la celda de carga derecha	Memoria de Datos
CELDA NORMALIZADA2	%MD104	Normalización de la celda de carga izquierda	Memoria de Datos
HORA	%MD132	Variable para hora actual del proceso	Memoria de Datos
PESO_DER	%MW108	Peso entregado por la celda de carga derecha	Memoria de Palabra
PESO_IZQ	%MW112	Peso entregado por la celda de carga izquierda	Memoria de Palabra
PESO_MIN	%MW116	Peso mínimo admisible de la dosificación	Memoria de Palabra
FECHA_HORA1	%MW12	Variable para fecha/hora actual del proceso	Memoria de Palabra
PESO_MAX	%MW120	Peso máximo admisible de la dosificación	Memoria de Palabra
PESO	%MW130	Peso ingresado mediante la HMI	Memoria de Palabra
PESO_IZQ_1	%MW200	Primer peso de celda izquierda de recolección de filtro	Memoria de Palabra
PESO_IZQ_2	%MW202	Segundo peso de celda izquierda de recolección de filtro	Memoria de Palabra
PESO_IZQ_3	%MW204	Tercer peso de celda izquierda de recolección de filtro	Memoria de Palabra
PESO_IZQ_4	%MW206	Cuarto peso de celda izquierda de recolección de filtro	Memoria de Palabra

CONTINÚA →

		recolección de filtro	Palabra
PESO_IZQ_5	%MW208	Quinto peso de celda izquierda de recolección de filtro	Memoria de Palabra
PESO_IZQ_6	%MW210	Sexto peso de celda izquierda de recolección de filtro	Memoria de Palabra
PESO_IZQ_7	%MW212	Séptimo peso de celda izquierda de recolección de filtro	Memoria de Palabra
PESO_IZQ_8	%MW214	Octavo peso de celda izquierda de recolección de filtro	Memoria de Palabra
PESO_IZQ_9	%MW216	Noveno peso de celda izquierda de recolección de filtro	Memoria de Palabra
PESO_IZQ_10	%MW218	Decimo peso de celda izquierda de recolección de filtro	Memoria de Palabra
PESO_IZQ_SUM	%MW220	Sumatorias de pesos recolectados de celda izquierda para el filtro	Memoria de Palabra
PESO_IZQ_FILTRADO	%MW222	Peso de celda de carga izquierda filtrado	Memoria de Palabra
PESO_DER_1	%MW224	Primer peso de celda derecha de recolección de filtro	Memoria de Palabra
PESO_DER_2	%MW226	Segundo peso de celda derecha de recolección de filtro	Memoria de Palabra
PESO_DER_3	%MW228	Tercer peso de celda derecha de recolección de filtro	Memoria de Palabra
PESO_DER_4	%MW230	Cuarto peso de celda derecha de recolección de filtro	Memoria de Palabra
PESO_DER_5	%MW232	Quinto peso de celda derecha de recolección de filtro	Memoria de Palabra
PESO_DER_6	%MW234	Sexto peso de celda derecha de recolección de filtro	Memoria de Palabra
PESO_DER_7	%MW236	Séptimo peso de celda derecha de recolección de filtro	Memoria de Palabra
PESO_DER_8	%MW238	Octavo peso de celda derecha de recolección de filtro	Memoria de Palabra
PESO_DER_9	%MW240	Noveno peso de celda derecha de recolección de filtro	Memoria de Palabra
PESO_DER_10	%MW242	Decimo peso de celda derecha de recolección de filtro	Memoria de Palabra
PESO_DER_SUM	%MW244	Sumatorias de pesos recolectados de celda derecha para el filtro	Memoria de Palabra
PESO_DER_FILTRADO	%MW246	Peso de celda de carga derecho filtrado	Memoria de Palabra
Contadores			
NUMERO_FUNDAS_PRODUCIDAS	%DB6	Contador de fundas producidas	CTU
CONT_CALIBRACION_EMPACADO	%DB8	Contador de ciclo de empaçado	CTU
Temporizadores			
TIEMPO_BAJADA	%DB1	Temporizador de tiempo de bajada de carril	TON
TIEMPO_COMPUERTA_DOSIF	%DB5	Temporizador de tiempo de apertura de compuertas de sistema de dosificación	TOF
TIEMPO_CORTE	%DB3	Temporizador de tiempo de acción de pistón de corte	TON
TIEMPO_PULSOS	%DB10	Temporizador de tiempo de pulsos para	TP

CONTINÚA →

		recolección de datos de filtro.	
TIEMPO_RESET	%DB18	Temporizador de tiempo de reset para restauración de datos de producción	TON
TIEMPO_SELLADO_HORIZONTAL	%DB9	Temporizador de tiempo de sellado	TON
TIEMPO_SUBIDA	%DB2	Temporizador de tiempo de subida de carril	TOF

El proceso es el siguiente. Empieza con el accionamiento del switch de alimentación eléctrica de la maquina donde se enciende tanto la parte de control, potencia y encendido de los controles de temperatura de sellado tanto vertical como horizontal y se espera a que llegue a la temperatura calibrada.

Luego se selecciona el peso requerido en las fundas mediante el HMI local, se inicia el proceso mediante el switch en HMI local y se activa el switch de encendido del motor de la etapa de arrastre empiece a oscilar. Posteriormente se activan las etapas de sellado y corte, mediante el sensor de posicionamiento de mecanismo de arrastre donde se determina el tiempo para activar y desactivar cada uno de los sistemas mencionados.

El sistema de empacado solo inicia cuando una de las dos balanzas indique que contiene el peso establecido, si ambas contienen el peso se da prioridad a la que se llene primero, mientras la otra se encuentra en espera hasta que finalice el ciclo de empacado.

En la Figura 37 se visualiza el Grafcet correspondiente a la lógica introducida en el PLC que controla el proceso de toda la máquina empacadora.

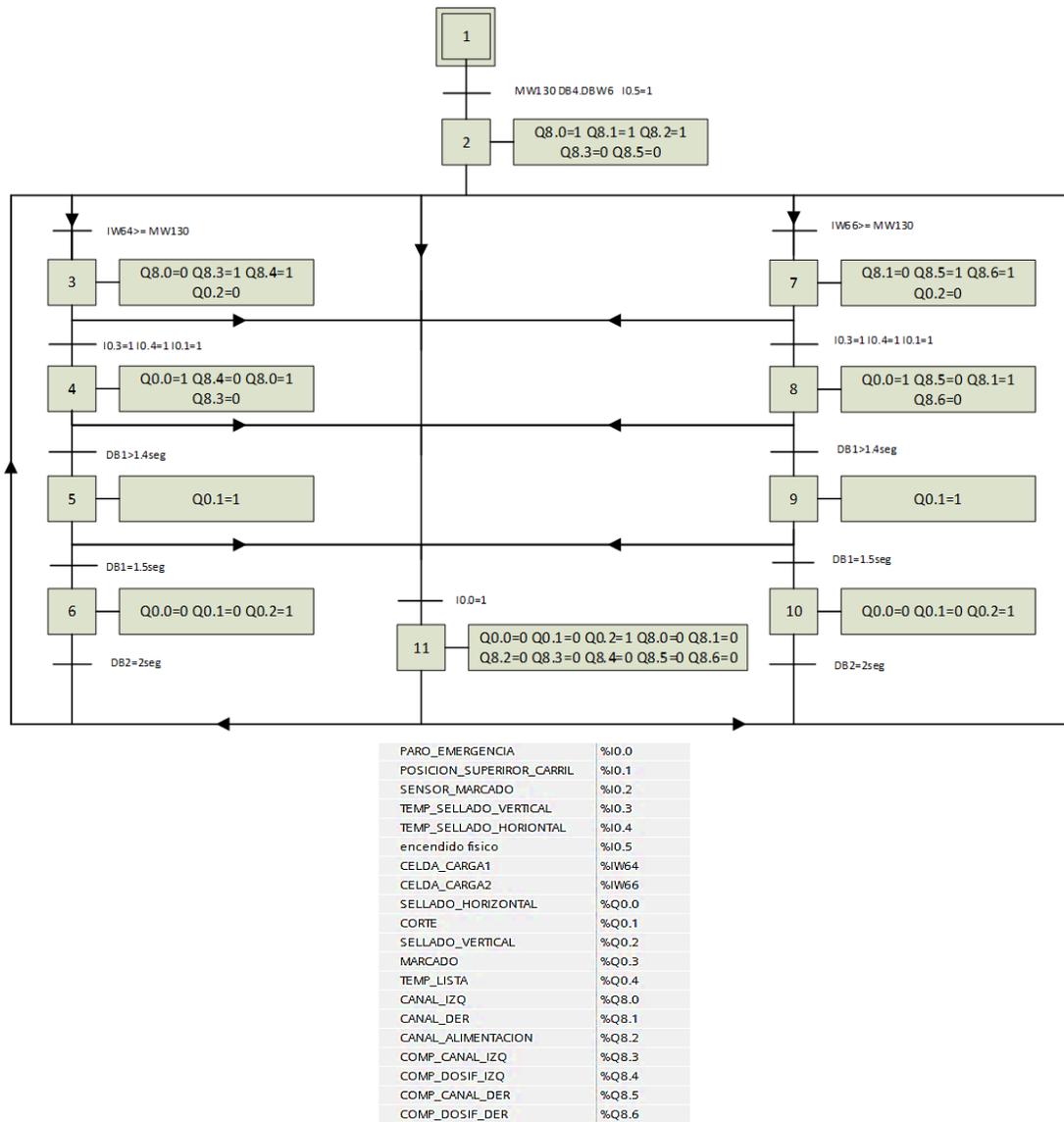


Figura 37 Graficet simplificado de Lógica de control del proceso

3.3.3 Interfaz gráfica (HMI-Dashboard)

3.3.3.1 HMI Local

Para el diseño del HMI se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones, como por ejemplo las variables que se desea visualizar y enviar en el HMI. En la tabla 17 se colocan los datos y variables que, categorizadas en grupos según su función dentro de la máquina, tanto la parte de dosificación y empaçado.

Tabla 17*Definición de variables para HMI local*

Nombre	Comentario	Grupo
Encendido de Proceso	Envía señal para que inicie el proceso	Controles Generales
Paro de Emergencia	Envía señal para que pare todo el proceso	
Estado de Empacadora	Indica el estado que se encuentra la máquina	Estado General
Estado de Emergencia	Indica si la máquina se ha puesto en pardo de emergencia	
Fundas Producidas	Indica las fundas producidas hasta ese momento	Actuadores
Estado de Canal de Alimentación	Indica si el vibrador del canal de alimentación se encuentra encendido	
Estado de Canal Derecho	Indica si el vibrador del canal derecho se encuentra encendido	
Estado de Canal Izquierdo	Indica si el vibrador del canal izquierdo se encuentra encendido	
Peso Fundas	Establece el peso de las fundas que se desea producir entre una variedad de opciones	Configuración de Dosificador
Confirmación	Envía una señal de confirmación para que se acepte el peso deseado de las fundas a dosificarse	
Fundas por Hora	Grafica las fundas sacadas por hora	Proceso
Ciclos Pistón Compuerta Canal Derecho	Indica los ciclos que está cumpliendo dicho pistón	Mantenimiento
Ciclos Pistón Compuerta Canal Izquierdo	Indica los ciclos que está cumpliendo dicho pistón	
Ciclos Pistón Compuerta Dosificador Derecho	Indica los ciclos que está cumpliendo dicho pistón	
Ciclos Pistón Compuerta Dosificador Izquierdo	Indica los ciclos que está cumpliendo dicho pistón	
Ciclos Pistón de Sellado Vertical	Indica los ciclos que está cumpliendo dicho pistón	
Ciclos Pistón de Sellado Horizontal	Indica los ciclos que está cumpliendo dicho pistón	
Ciclos Pistón de Corte	Indica los ciclos que está cumpliendo dicho pistón	

3.3.3.1 Dashboard

Al tratarse de implementar un monitoreo a través de la nube se debe tomar en cuenta que los datos a visualizarse solo permitirán al usuario monitorear el proceso, es decir, no se enviara ningún tipo de señal, ya que se busca mediante la monitorización tratar procesar la información recogida en el monitoreo y procesarla para de ser posible un posterior análisis sea este estadístico o probabilístico. Por tanto, con lo antes mencionado en la tabla 18 se indican cada una de las variables que se visualizaran en el dashboard.

Tabla 18
Definición de variables para Dashboard

Nombre	Comentario	Grupo
Estado de Empacadora	Indica el estado que se encuentra la máquina	Estado General
Estado de Emergencia	Indica si la máquina se ha puesto en pardo de emergencia	
Fundas Producidas	Indica las fundas producidas hasta ese momento	
Estado de Canal de Alimentación	Indica si el vibrador del canal de alimentación se encuentra encendido	Actuadores
Estado de Canal Derecho	Indica si el vibrador del canal derecho se encuentra encendido	
Estado de Canal Izquierdo	Indica si el vibrador del canal izquierdo se encuentra encendido	
Peso Fundas	Indica el peso de las fundas que se ha seleccionado del HMI local	Configuración de Dosificador
Fundas al Día	Grafica las fundas por hora	Proceso
Fundas a la Semana	Grafica las fundas a la semana	

3.4 Subsistema de Comunicación

3.4.1 Diseño de Arquitectura para Monitoreo mediante la Nube

En el capítulo 2 en la sección 2.3.2 en la página 10, se recalcó que para un montaje de una infraestructura basada en tendencia IoT e industria 4.0; se debe tomar en cuenta varios elementos al momento del diseño de la arquitectura para que trabaje de una forma funcional:

A. Dispositivos

El dispositivo que funcionará como procesador de información será el PLC Siemens S7-1200. Al no poseer un Gateway en su infraestructura interna del PLC se debe añadir un dispositivo que cumpla como gestor de los datos entregados por el PLC y poder subirlos hacia la nube. Para ello se hace una pequeña discriminación sobre dispositivos que tengan la capacidad de realizar las operaciones de Gateway requeridas.

- **Selección de Alternativas Gateway de Comunicación**

Referente al mercado tanto nacional como extranjero podemos encontrar los siguientes tipos de Gateway que según sus características obtenemos los siguientes detalles representados en la tabla 19

Tabla 19
Alternativas para Gateway de comunicación

Alternativas	Atributos de Procesamiento	Robustez	Costo	Dificultad de Adquisición
Siemens IoT 2040	- Intel Quark x1020 (x86 400 MHz) con funciones de seguridad - 1 GB RAM, 8 MB FLASH -Plataforma abierta	Diseñado para entornos industriales con protecciones	-Aproximadamente \$260	Existente en el mercado nacional, bajo pedido
KUNBUS RevPi Core 3	- Broadcom BCM2837 (1.2 GHz) - 1 GB RAM, 4GB FLASH, -Plataforma abierta	Diseñado para entornos industriales con protecciones	-Aproximadamente \$200	Existente solo en el mercado internacional
Computador Personal	- Intel Core i7 (3.6 GHz) - 4 GB RAM, 4GB FLASH, -Plataforma abierta -conectividad inalámbrica IEE 802.11 b/g/n	No es muy eficiente para entornos agresivos industriales	-Aproximadamente \$600	Existente en el mercado nacional
Raspberry PI 3	- Broadcom BCM2837 (1.2 GHz) - 1 GB RAM, -conectividad inalámbrica IEE 802.11 b/g/n -Plataforma abierta	No es muy eficiente para entornos agresivos industriales	-Aproximadamente \$108	Existente en el mercado nacional

Fuente: (Siemens, 2019) (KUNBUS, 2019) (Raspberry, 2019)

- **Parámetros de Evaluación de Gateway de Comunicación**

A. Atributos de Procesamiento

Este será un factor importante al momento de seleccionar el Gateway necesario, ya que para tener la mejor fluidez y evitar atascamiento de datos de los datos la velocidad del procesador en el dispositivo mientras más alto sea la velocidad es mejor el desempeño.

B. Robustez

Es importante que el dispositivo soporte el entorno industrial o de otra forma se requiere que este lo más alejado posible del área de producción de la máquina.

C. Costo

Para realizar la adquisición se toma en cuenta el costo, disponibilidad y accesibilidad, para la selección más conveniente para el Gateway de comunicación.

D. Dificultad de Adquisición

Es fundamental se tenga en consideración la obtención en el mercado nacional para promover la industria en nuestro país y sea mucho más fácil a menor tiempo posible.

3.1.1.4 Selección de Alternativas para Gateway de Comunicación

En base a la Tabla 19 podemos denotar que el computador personal tiene mejor desempeño en lo referente a procesamiento es decir que no existirán problemas en rendimiento tanto del procesamiento de las señales o procesos que realice el Gateway para la comunicación. En cuestión de robustez el dispositivo Siemens IoT 2040 y KUNBUS son hechos para ambientes industriales, el computador personal y la Raspberry PI no poseen ningún tipo de prestaciones dentro del ámbito industrial pero no es necesario que este se encuentre dentro de las zonas de producción siempre y cuando pueda conectarse al controlador de la máquina PLC, en cuanto al costo y adquisición la empresa pone a disposición un computador personal el que puede ser utilizado tanto como Gateway y como dispositivo de visualización local (HMI-local) para el monitoreo del estado de la máquina por lo que se opta como mejor solución como Gateway de comunicación dentro de la arquitectura IoT que se quiere implementar.

B. Medio de transmisión

En base a la información descrita en el capítulo 2 en la sección 2.3.2 en la parte B destinada a redes inalámbricas en la página 14 se selecciona en función al cumplimiento a los requerimientos como distribución, escalabilidad, interacción, seguridad y disponibilidad.

Con respecto a la disponibilidad conocemos que tecnologías como Z-Wave, ZigBee, LoraWAN, SigFox, no están disponibles dentro del mercado ecuatoriano razón que son opciones descartables, La telefonía móvil se descarta también, el motivo, porque no existe módulos o dispositivos capaces de conectar al dispositivo de procesamiento que en este caso es el PLC s7-1200.

La tecnología bluetooth respecto a seguridad e interacción se desempeña eficientemente siempre y cuando cono se estén dentro del rango de alcance del dispositivo, con respecto a escalabilidad y distribución, está destinado más a conexiones con smartphone, es decir, uno a uno por lo que no es la mejor opción.

Por ende, el mejor resultado para el medio de transmisión para la arquitectura IoT es la tecnología WiFi, porque al permitir una escalabilidad eficiente donde varios dispositivos se pueden conectar dentro de la red y con una interacción eficiente ya que en el este caso el Gateway que es el computador personal posee una conexión Wireless, por lo que se puede comunicar fácilmente localmente con el PLC mediante un red LAN; con la utilización de protocolos Ethernet y TCP/IP para simultáneamente enviar los datos al Gateway para que este envíe los datos a la nube para ser analizados o procesados en la nube vía WiFi. También tiene la ventaja al poseer un alto rango de alcance, puede conectarse a cualquier lugar seguro que no entre en contacto con el entorno de trabajo. Por lo tanto, se escoge como medio de transmisión para él envío de datos dentro de nuestra arquitectura

C. Protocolo

Una vez elegida el medio por el cual se va a enviar los datos y en base a la información descrita en el capítulo 2 en la sección 2.3.2 en la parte C destinada a Protocolos de Comunicación IoT en la página 17 se detalla las características que desempeñan cada uno de los protocolos con respecto de igual a las características como distribución, escalabilidad, interacción, seguridad y disponibilidad.

EL protocolo OPC UA al ser diseñado como protocolo cliente/servidor se desempeña eficientemente en lo referente a la características de distribución y escalabilidad al ser un protocolo desarrollado estrictamente para comunicación de PLC's, el cual es muy seguro ya que ofrece comunicación bidireccional y encriptación, también posee plataformas amigables para su fácil configuración, sin embargo, con referencia con su disponibilidad al ser protocolo propietario de OPC Foundation no es de libre acceso y su costo puede ser elevado.

El protocolo HTTP es de tipo cliente/servidor esto hace que tenga una gran capacidad en lo que se refiere a distribución y escalabilidad. Este protocolo posee gran cantidad de herramientas de código abierto que lo vuelven altamente disponible para adaptación en cualquier infraestructura IoT, pero con respecto a la interacción y la seguridad, es bastante vulnerable ya que es más utilizado para proveer y recibir información; mas no para manejo de datos en plataformas industriales.

El protocolo MQTT es uno de los mejores protocolos para arquitecturas IoT se refiere, al ser en forma de publicar/subscribir su distribución y escalabilidad son muy buenas al poseer un servidor llamado bróker que gestionaras la unión y procesamiento de los dispositivos que se conecten a este servidor. El protocolo MQTT cuenta con seguridades de encriptación e identificación propias del protocolo lo que lo hace con una alta interacción con el usuario y

seguro para la transmisión y reenvío de datos. También al ser un protocolo de código abierto es altamente disponible y adaptable a cualquier tipo de arquitectura que se quiera implementar.

El protocolo CoAP posee características similares a distribución, escalabilidad, interacción, seguridad y disponibilidad semejantes a HTTP por lo que no es recomendable en la utilización de manejo de datos y generalmente es utilizado como protocolo terciario de comunicación.

El protocolo DDS es un protocolo del tipo punto a punto por lo que lo hace muy veloz pero no es muy escalable y de difícil distribución, la ser de código abierto posee un gran disponibilidad y seguridad a nivel de usuario, sin embargo, no se recomienda industrialmente porque su poca interacción con el manejo de datos y TIC es ineficiente, por lo que es usado como protocolo secundario de comunicación.

El protocolo AMQP es similar al protocolo MQTT en lo que respecta a Distribución, escalabilidad, seguridad y disponibilidad, la única diferencia con MQTT es que este es un protocolo bastante pesado mayormente utilizado para sistemas TIC altamente robustos.

Finalmente, el protocolo MQTT es recomendado para la implementación en nuestra arquitectura por ser el que mejor se adapta según a las características antes mencionadas, en donde su comunicación confiable y código abierto.

D. Modelo de Servicio

Finalmente, el último elemento para tener una arquitectura completa es el modelo de servicio que vamos a implementar en toda la arquitectura. En base, a lo desglosado en el capítulo 2 en la sección 2.3.2 en parte D destinada a modelos de servicio en la página 19; al no ser necesario un almacenamiento extenso, ni montar una infraestructura total para el servicio sin mayor demanda, se decide implementar un modelo IaaS (Infrastructure as a Service).

Donde tendremos accesibilidad a las aplicaciones, datos y sistema operativo independientemente de la plataforma en la cual se implemente.

3.5 Implementación

3.5.1 Implementación de la estructura.

3.5.1.1 Implementación de tolvas, canales del sistema de dosificación

Para la implementación de los diferentes elementos dentro del subsistema mecánico se toma en cuenta las operaciones necesarias para modificar la materia prima entrante y mediante un proceso de fabricación obtener piezas o productos finales.

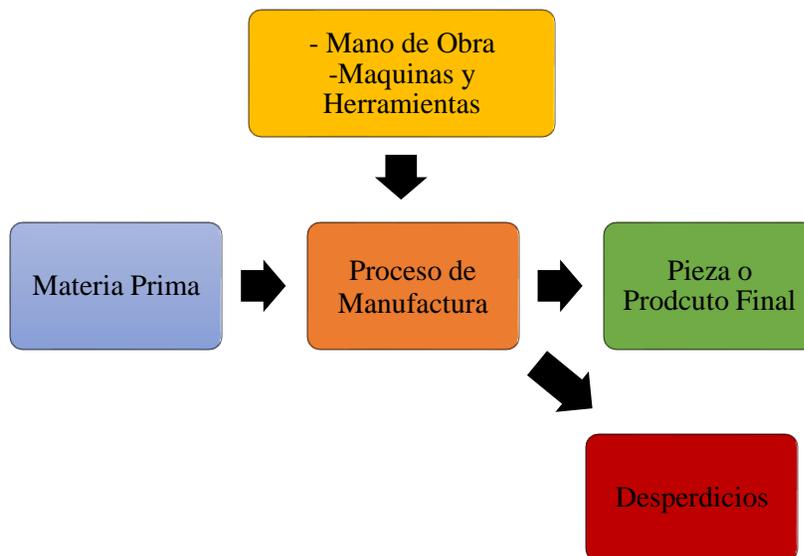


Figura 38 Esquema General de un Proceso de Fabricación

En la Figura 38 podemos observar cómo se desarrolla un proceso de fabricación en donde entra la materia prima pasa por el proceso de fabricación que se lo realiza mediante mano de obra y utilización de máquinas / herramientas para obtener el producto o pieza final.

Un proceso de fabricación adecuado tiene como objetivos garantizar la optimización de materia prima, tiempo y recursos económicos para la elaboración de un producto o pieza de calidad.

En el Anexo en las Figuras 76 a 83 se adjunta cada uno de los procesos de fabricación de cada una de las piezas que conforman el subsistema mecánico

3.5.2 Implementación de los actuadores y mecanismo de movimiento.

Para el caso del mecanismo de la apertura y cierre de las diferentes compuertas que actúan sobre el sistema de dosificación simplemente se debe tomar en cuenta los puntos de pivote y las presiones requeridas por los pistones. Para que este no golpee con los diferentes canales y tolvas.

En la Figura 39 se visualiza los pistones usados y la incorporación en los canales y tolvas de dosificación.



Figura 39 Montaje de pistones en Canal y Tolva de Dosificación

3.5.3 Implementación de Sistema de Electrónico

Para la implementación del circuito de acondicionamiento se diseñó el circuito anteriormente diseñado en un software para su posterior implementación como circuito PCB. Este circuito será implementado individualmente para cada una de las celdas de carga. En la Figura 40 se observa el diseño del circuito para la implementación en una PCB.

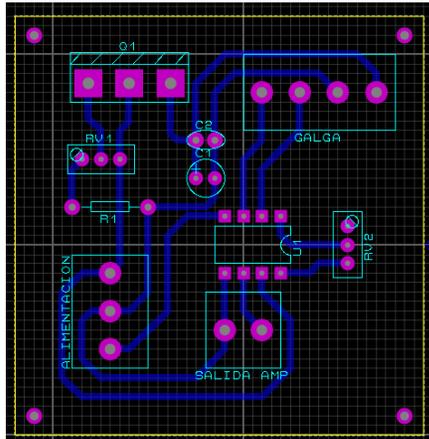


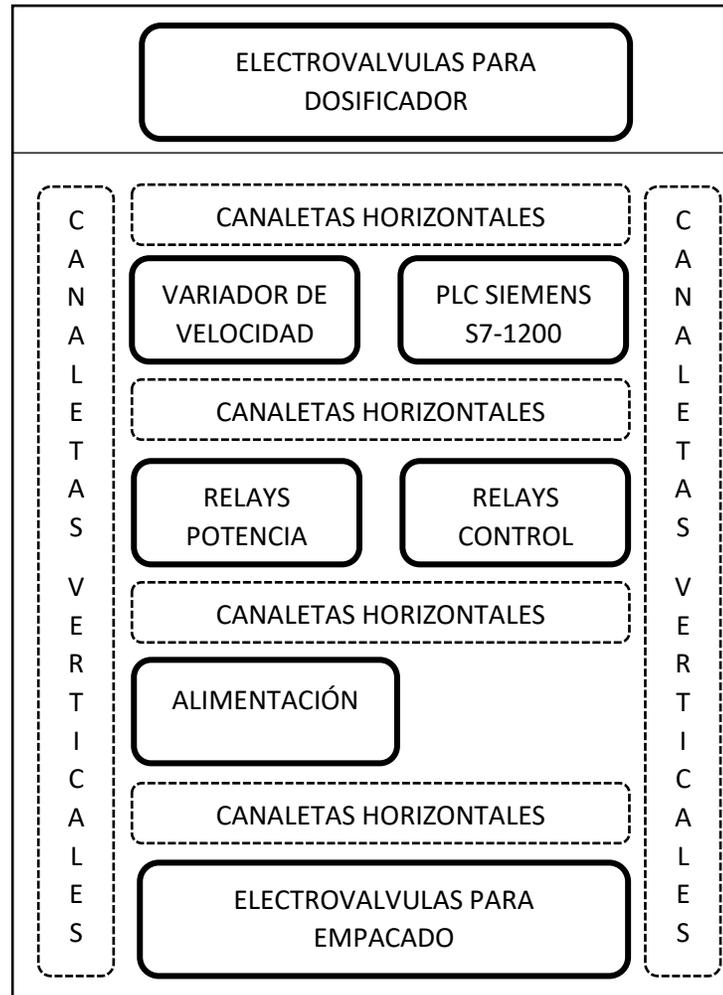
Figura 40 Diseño de PCB de Circuito de Acondicionamiento

3.5.3 Implementación de Sistema de Control

3.5.3.1 Implementación de Sistema Eléctrico

La ubicación y distribución de los distintos componentes dentro del armario eléctrico, es fundamental como parte integral del bastidor dentro de la empacadora. Para un aprovechamiento del espacio físico donde opera la máquina.

A continuación, en la Figura 41 se detalla cada uno de los espacios que conforman el



armario eléctrico.

Figura 41 Esquema de Armario Eléctrico

3.5.3.1 Implementación de HMI

A continuación, se describirán cada uno de los grupos establecidos anteriormente dentro del diseño del HMI, y cuál fue su configuración tanto en el Gateway como en la nube.

- **Configuración HMI local**

En la Figura 42 se visualiza la programación por bloques realizada en node-red para el grupo de Controles Generales. En donde se configuran tanto el switch de encendido y el paro de emergencia enviados al PLC.



Figura 42 Programación de Encendido y Paro de Emergencia

En la Figura 43 se visualiza la programación por bloques realizada en node-red para el grupo de Estado General. Donde se indica los estados del proceso de encendido, paro de emergencia de la máquina y el número de fundas producidas hasta ese momento. Las cuales son enviadas a visualizar al HMI y enviadas a la nube mediante MQTT.

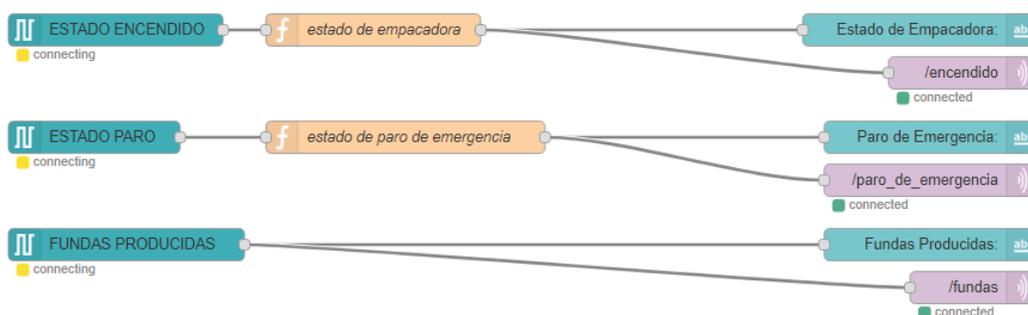


Figura 43 Programación de Estados Generales

En la Figura 44 se visualiza la programación por bloques realizada en node-red para el grupo de Estado de Actuadores. Donde se indica si los actuadores dentro del proceso están en funcionamiento. De igual manera son enviadas a visualizar al HMI y enviadas a la nube mediante MQTT.

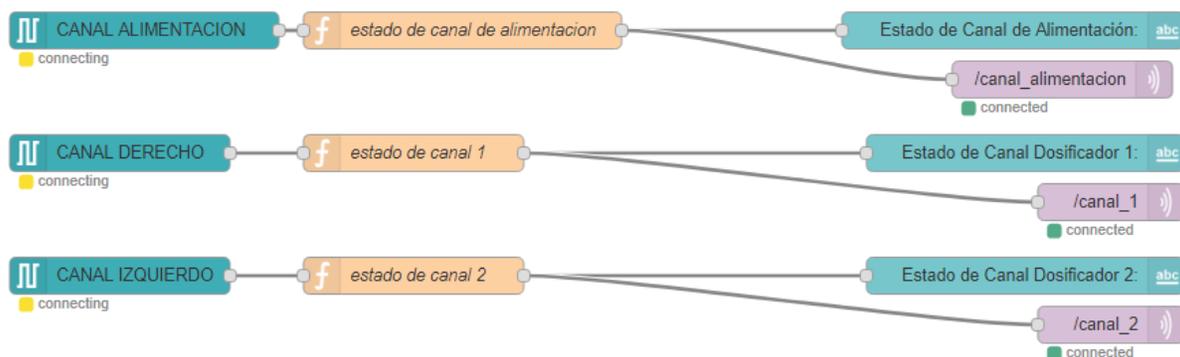


Figura 44 Programación de Estados de los Actuadores

En la Figura 45 se visualiza la programación por bloques realizada en node-red para el grupo de Configuración de Dosificador. Donde se envía el peso y la confirmación del peso deseado en el que se quiere que se produzca las fundas. El peso confirmado se envía desde el PLC hacia la nube por si no se llega a dar a la confirmación en la nube este valor no cambiara



Figura 45 Programación de Configuración de Peso de las Fundas

En la Figura 46 se visualiza la programación por bloques realizada en node-red para el grupo de Proceso. Donde se grafica la producción por hora obtenida desde la base de datos en la nube y se envía la producción tanto por hora, como diaria desde el PLC para que se almacene en la base de datos para un posterior análisis.

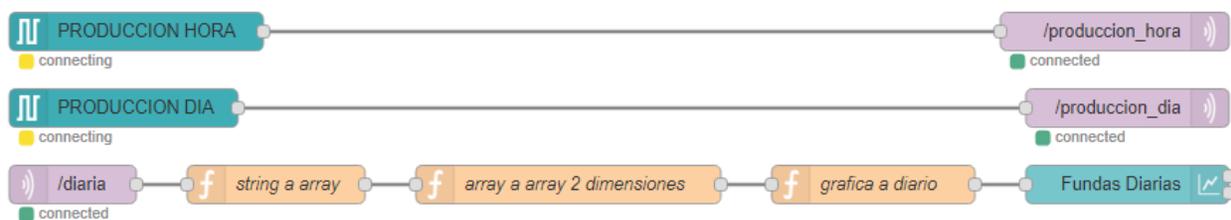


Figura 46 Programación de Envío de Producción a la Base de Datos

Finalmente, En la Figura 47 se visualiza la programación por bloques realizada en node-red para el grupo de Mantenimiento. Donde se grafica cada uno de los ciclos que desempeñan los pistones en tiempo real dentro de la maquina empacadora para posibles mantenimientos.

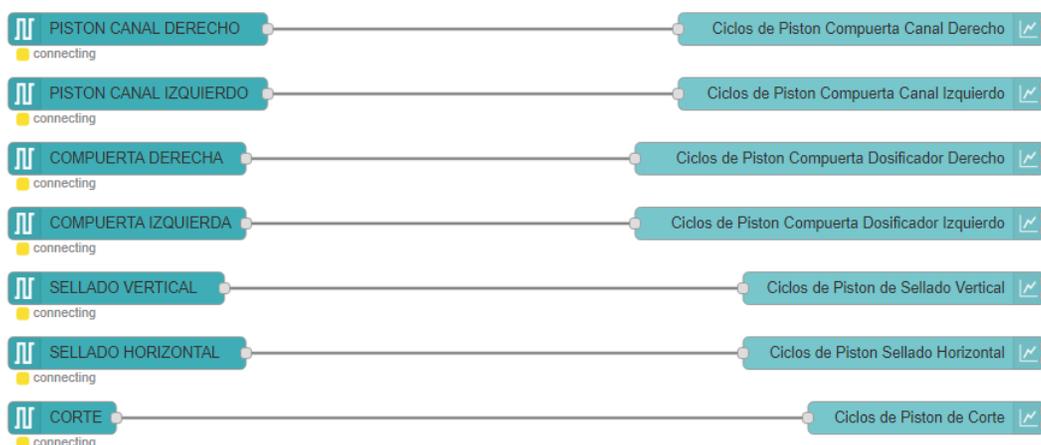


Figura 47 Programación de Grupo Mantenimiento

- **Configuración Dashboard**

En la Figura 48 se visualiza la programación por bloques realizada en node-red para el recibimiento de todos los datos enviados por el PLC a la nube mediante MQTT. Para su correspondiente monitorización.

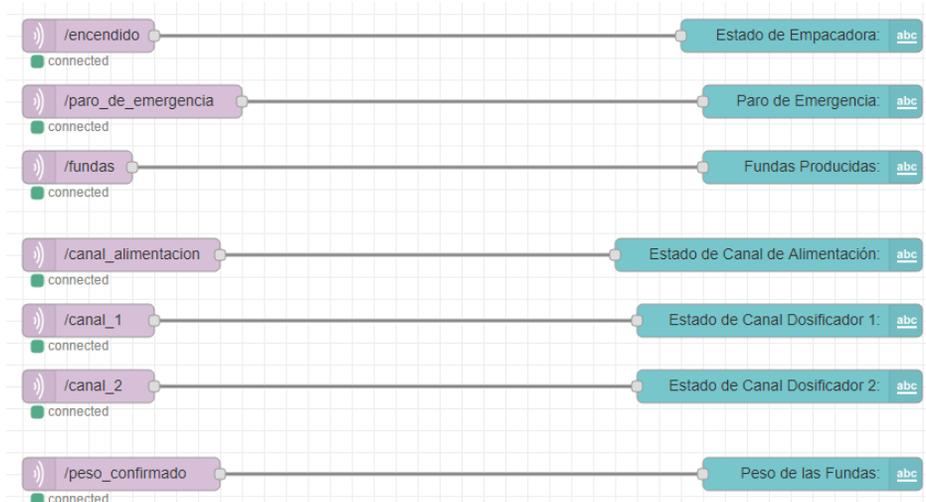


Figura 48 Programación de para recibimiento de Variables del proceso

En la Figura 49 se visualiza la programación por bloques realizada en node-red para la creación de tablas en donde se almacenarán los diferentes datos correspondientes a la producción de la maquina los cuales podrán ser manejados a gusto pro el usuario. Hay que destacar que en la tabla global se almacenarán con fecha y hora todos los valores de producción diarios realizados por la máquina y aunque no se muestren gráficamente servirán como respaldo de la producción en general.

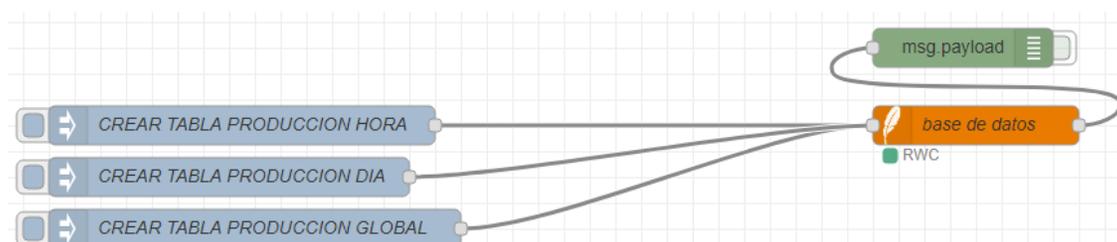


Figura 49 Programación de para Creación de diferentes tablas dentro de la Base de Datos

En la Figura 50 se visualiza la programación por bloques realizada en node-red para la inserción de los datos extraído desde el PLC y enviados por MQTT, hacia las diferentes tablas creadas anteriormente en la base de datos.



Figura 50 Programación de para Inserción de datos en las tablas dentro de la Base de Datos

Finalmente, En la Figura 51 se visualiza la programación por bloques realizada en node-red para el análisis de los datos de producción de la máquina, para su respectiva visualización en el dashboard. Cabe mencionar que estos podrán ser solicitados por el usuario mediante los botones de DIARIO y SEMANAL o la producción diaria se actualizara automáticamente cada hora desde el inicio de la máquina.

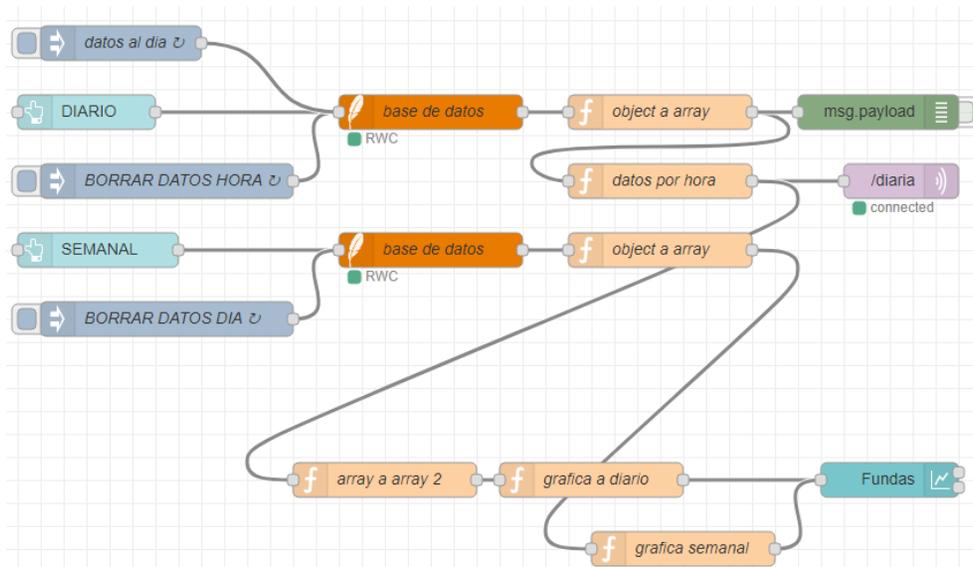


Figura 51 Programación de manejo de datos en las diferentes tablas dentro de la Base de Datos

3.5.4 Implementación del sistema de Eléctrico

Para el caso del sistema de control se añade los elementos correspondientes a electroválvulas y al controlador lógico programable dentro del panel eléctrico de la máquina. En la Figura 52 se visualiza la distribución de los diferentes componentes de la máquina.

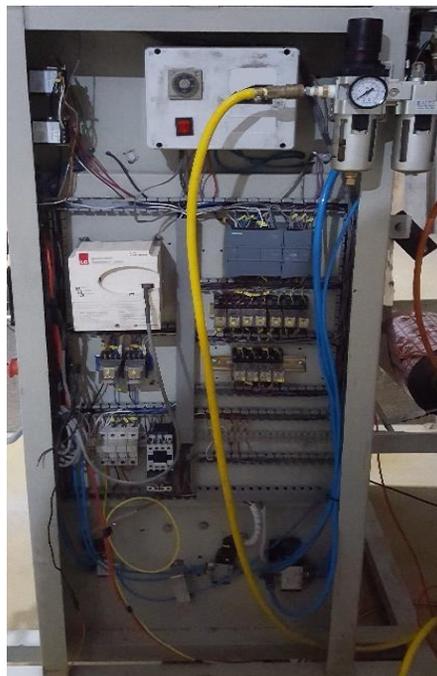


Figura 52 Distribución de elementos en el Panel Eléctrico

3.5.5 Implementación Comunicación IoT

Establecido los elementos de la arquitectura de comunicación IoT se procede a montar la arquitectura como se indica en la Figura 53, en donde, su funcionamiento será el siguiente.

Primero el PLC enviara los datos a través de la red local hacia el computador, en donde, los datos sean visualizados en el computador sobre el HMI local y también sean enviados a la nube, para que el bróker realice la visualización sobre un dashboard implementado en el droplet o los datos recogidos entren a una base de datos, y de ser necesario traer la información requerida al dashboard y se represente en gráficas para su posterior análisis.

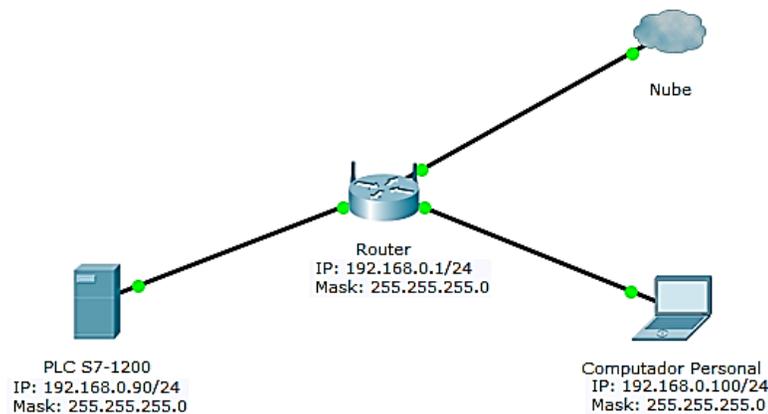


Figura 53 Esquema de Conexión de Comunicación

- **Configuración del PLC**

La configuración necesaria para enviar los datos del PLC hacia nuestro Gateway que en este caso es nuestro computador basta contener 2 consideraciones importantes para que el nodo en nuestro Gateway reciba los datos sin problema.

Primero se asegura que las los mecanismo de conexión del PLC estén activados. Esto permite que el PLC pueda enviar y recibir información de elementos externos. Esto se realiza entrando a las propiedades del PLC → Protección → Mecanismos de Conexión y activamos esa opción. En la Figura 54 podemos observar la activación de este requisito.

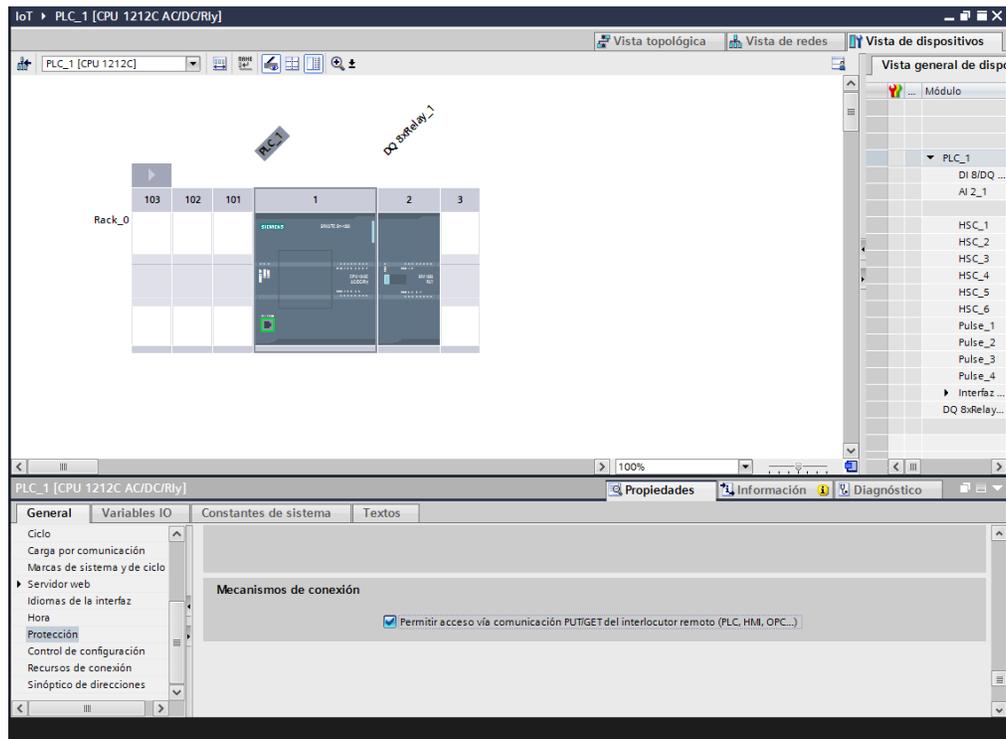


Figura 54 Configuración GET/PUT para PLC Siemens

Segundo, se crea un bloque de datos en donde se recibirán y enviarán todos los datos del proceso requeridos, se debe tomar en cuenta que el bloque no debe estar optimizado. Para verificar esta configuración nos dirigimos a: Propiedades del bloque → Atributos y desactivamos la opción optimizar el bloque de acceso. En la Figura 55 se detalla la configuración descrita.

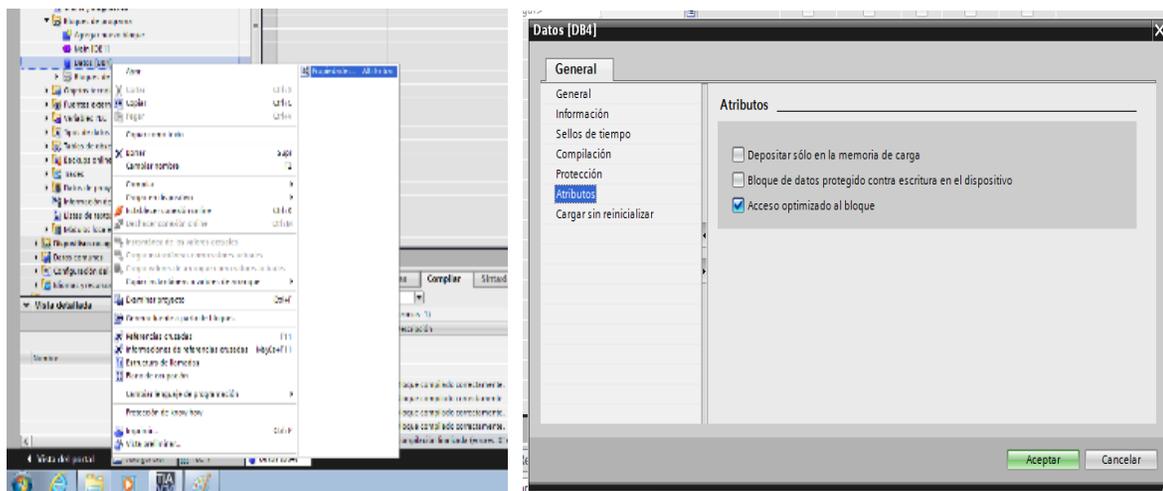


Figura 55 Configuración Optimización de Bloque de Datos

Cabe mencionar que las entradas y salidas del PLC no es necesario ingresarlas al bloque de datos, estas pueden enviarse directamente hacia el Gateway.

- **Configuración del Computador Personal (Gateway)**

El Gateway puede contar con sistema cualquier sistema operativo, ya que la herramienta de programación para desarrollo de aplicaciones IoT como es node-red trabaja sobre cualquier sistema operativo. Por ende, nuestro computador deberá poseer la herramienta node-red con los nodos correspondientes como son *node-red-dashboard* que nos ayudaran a la creación de HMI local, también debemos tener instalado el nodo *node-red-contrib-s7* desarrollado por Siemens para la conexión IoT en su línea de PLC's

En la Figura 56 podemos visualizar la programación por bloques de nuestra HMI local realizada en node-red.

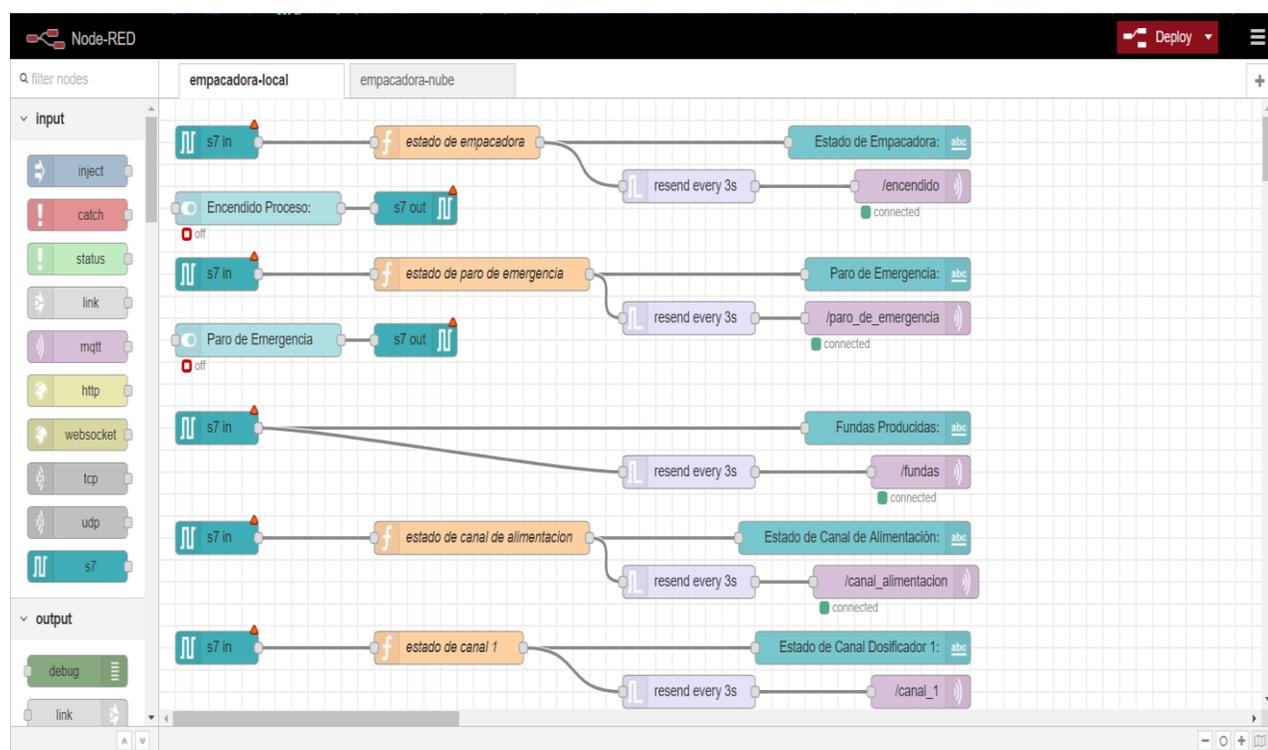


Figura 56 Programación por bloques en node-red de HMI local

- **Configuración en la Nube**

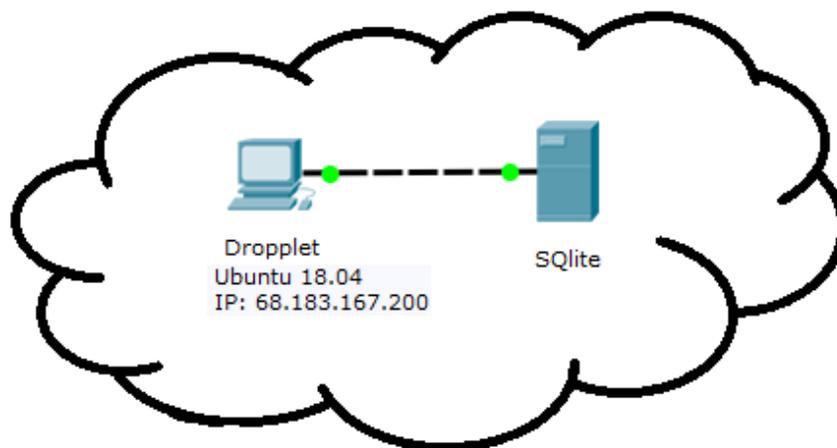


Figura 57 Ilustración de Estructura del Droplet

Dentro de la nube nosotros hemos montado nuestro modelo de servicios IaaS por lo que no nosotros adquirimos una máquina virtualizada (droplet) dentro de una plataforma llamada Digital Ocean en donde podemos acceder a esta mediante una IP pública que se nos proporciona.

Para el montaje de este se basó en software libre que es la única opción que nos permite esta plataforma.

Nuestro droplets deberá poseer los siguientes requisitos para la comunicación con el Gateway. Primero deberá contar con el bróker en donde hemos elegido a Eclipse Mosquitto que es un intermediario de mensajes de código abierto que se implementa para desarrollo de protocolo MQTT; también de igual manera que el Gateway; debe poseer node-red con los siguientes nodos para poder manejar todo aquello que es la publicación y suscripción de datos en el bróker mediante el nodo de mqtt que viene por defecto en la instalación de node-red, para la monitorización de datos en el dashboard el nodo *node-red dashboard* y finalmente el nodo que nos permitirá enviar los datos a una base de datos de node-red propiamente, es decir que no tiene un servidor separado. Mediante *node-red-node-sqlite* podemos leer y escribir directamente

archivos de disco ordinarios. Con una base de datos SQL que cuenta con múltiples tablas, activadores, registros contenidos en un solo archivo.

En la Figura 58 se puede observar la ejecución del dashboard implementado el cual se podrá acceder mediante cualquier dispositivo mediante la ip del droplet en el navegador de su preferencia, es decir: 68.183.167.200 /ui

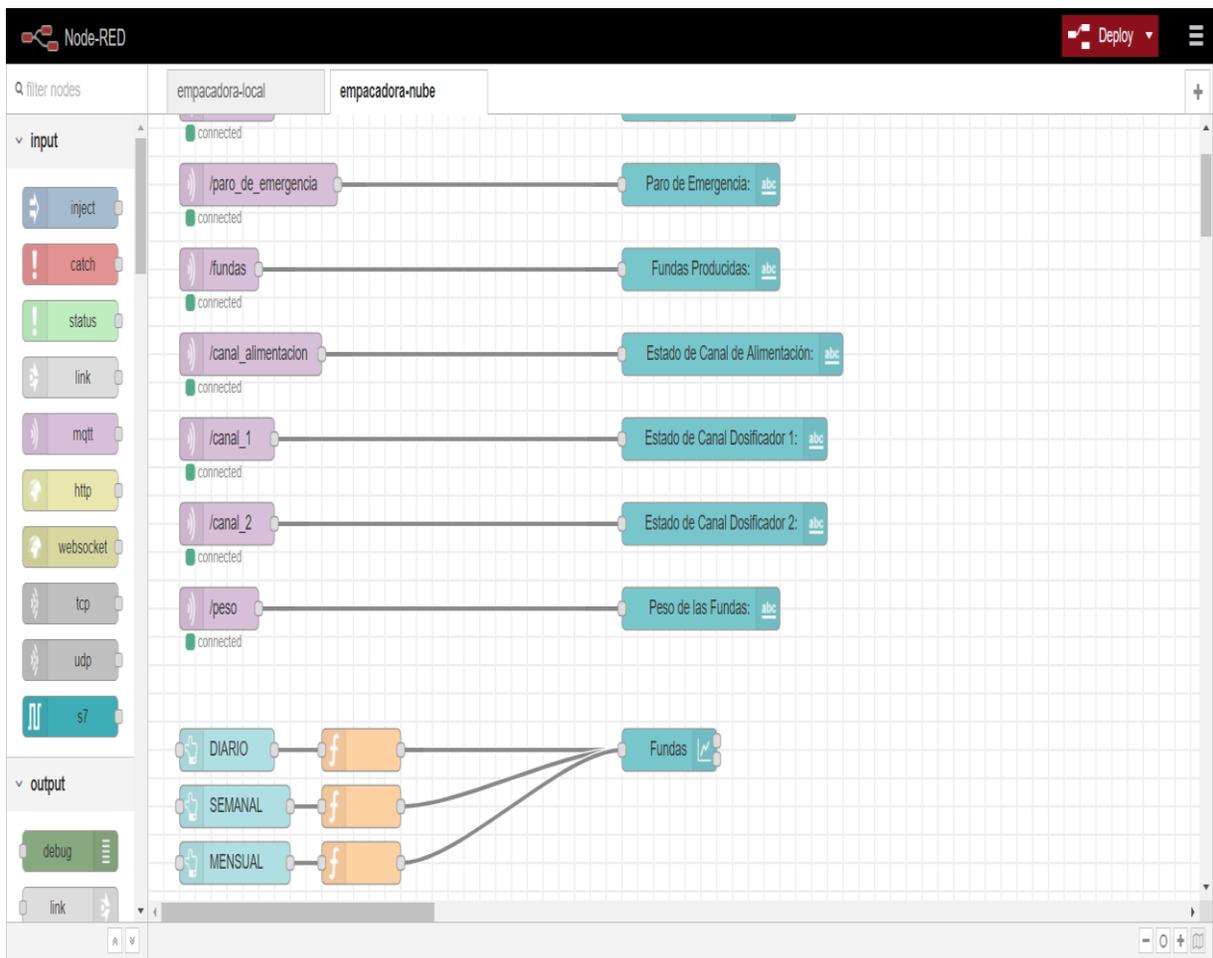


Figura 58 Programación por bloques en node-red de Dashboard

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 Pruebas y resultados del prototipo.

Los distintos elementos que conforman el sistema tanto de dosificación y empaqueo de dosificación deben desenvolverse de manera eficiente de acuerdo con su función, permitiendo obtener un producto de calidad y bajo las normas establecidas para tratamiento de producto alimenticios, por lo tanto, se realiza un conjunto de pruebas para la verificación de dosificación de la máquina, para un posterior análisis estadístico de los resultados.

La prueba realizada para verificar la obtención del producto consistió en un pequeño muestreo del peso del producto, constatando si el peso cumple con los requerimientos impuestos por la empresa. En la Tabla 20 podemos observar las distintas adquisiciones de 10 muestras de los pesos de las fundas.

Tabla 20

Pruebas de Producción

Número de Pruebas	Peso Requerido (gramos)	Peso Obtenido (gramos)
1	30	29
2	30	33
3	30	32
4	30	29
5	30	28
6	30	28
7	30	28
8	30	29
9	30	30
10	30	28

Después de realizado el muestreo podemos se realiza el cálculo del error; al considerar varias medidas tomadas de forma directa, entonces el error absoluto está dado por la siguiente formula.

$$\text{error absoluto } (\Delta x) = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (38)$$

Donde

x_i = Peso obtenido

\bar{x} = Peso medio

n = Número de medidas

Por lo tanto, en la Tabla 21 podemos observar los valores a considerarse dentro de la formula como los sumatorios de $(x_i - \bar{x})^2$ teniendo como resultado.

$$\Delta x = \sqrt{\frac{27.60}{10(10-1)}} = 0.55g$$

Tabla 21

Calculo de Error Absoluto

Número de Pruebas	Peso Requerido (P)	Peso Obtenido (xi)	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
	(gramos)	(gramos)	(gramos)	(gramos^2)
1	30	29	-1,10	1,21
2	30	33	2,90	8,41
3	30	33	1,90	3,61
4	30	29	-1,10	1,21
5	30	31	0,90	0,81
6	30	31	0,90	0,81
7	30	29	-1,10	1,21
8	30	30	-0,10	0,01
9	30	28	-2,10	4,41
10	30	29	-1,10	1,21
	\bar{x}	30.20	$\Sigma(x_i - \bar{x})^2$	27.60

En la Figura 59 podemos observar la toma de datos realizada del producto de las diferentes medidas realizadas.



Figura 59 Toma de pesos para ponderación de error

También es imprescindible conocer el porcentaje de error que se obtiene del muestreo, es decir debemos conocer el error porcentual de muestra prueba, donde el error porcentual estará dado por la siguiente ecuación.

$$\text{error porcentual } (e\%) = \frac{\Delta x}{|\bar{x}|} \cdot 100\% \quad (39)$$

Donde:

Δx = Error absoluto

\bar{x} = Peso medio

Por lo tanto:

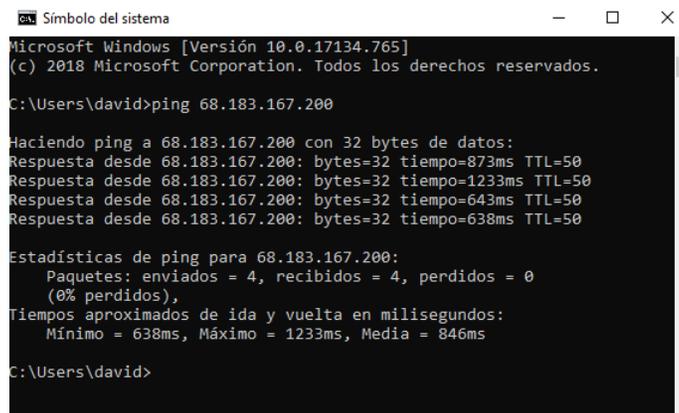
$$e\% = \frac{0.55}{|30.20|} \cdot 100\% = 1.83\%$$

Se logró la dosificación del producto con un error aproximado 1.83% en error porcentual según el proceso antes realizado. Cumpliendo así con la restricción de la empresa definidas en el Capítulo 3 en la sección 3.1.1.1. en la página 24.

4.2 Pruebas y resultados del sistema de comunicación (monitoreo)

4.2.1 Tiempo de Conexión a la Red

El tiempo de emisión y recepción de datos es un factor importante en la velocidad del monitoreo, para evaluar la conexión que mejor se desempeñe para la conexión en el bróker MQTT. Para la evaluación de este se ha destinado una conexión a internet cuya velocidad de 10Mbps de subida y bajada de un proveedor privado, se midió el tiempo entre el envío y la recepción de un mensaje. En la Figura 60 podemos observar que el tiempo de conexión con el servidor tiene un tiempo promedio de 846ms.



```

Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.17134.765]
(c) 2018 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\david>ping 68.183.167.200

Haciendo ping a 68.183.167.200 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 68.183.167.200: bytes=32 tiempo=873ms TTL=50
Respuesta desde 68.183.167.200: bytes=32 tiempo=1233ms TTL=50
Respuesta desde 68.183.167.200: bytes=32 tiempo=643ms TTL=50
Respuesta desde 68.183.167.200: bytes=32 tiempo=638ms TTL=50

Estadísticas de ping para 68.183.167.200:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 638ms, Máximo = 1233ms, Media = 846ms

C:\Users\david>

```

Figura 60 Evaluación de tiempos de conexión

4.2.2 Costo Computacional

El uso de los recursos como son el droplet deben considerarse dentro de la arquitectura ya que pueden influir en el costo adicional del sistema. Para determinar el costo computacional requerido por el envío de datos del proceso; se procedió a capturar los datos realizados por la máquina durante un tiempo de una hora desde su encendido. Los resultados se muestran en la Figura 61 datos recogidos de la página de Digital Ocean, en donde se puede visualizar el comportamiento tanto en ancho de banda y consumo del CPU que son de 0.24Mbps y 0.3% respectivamente.

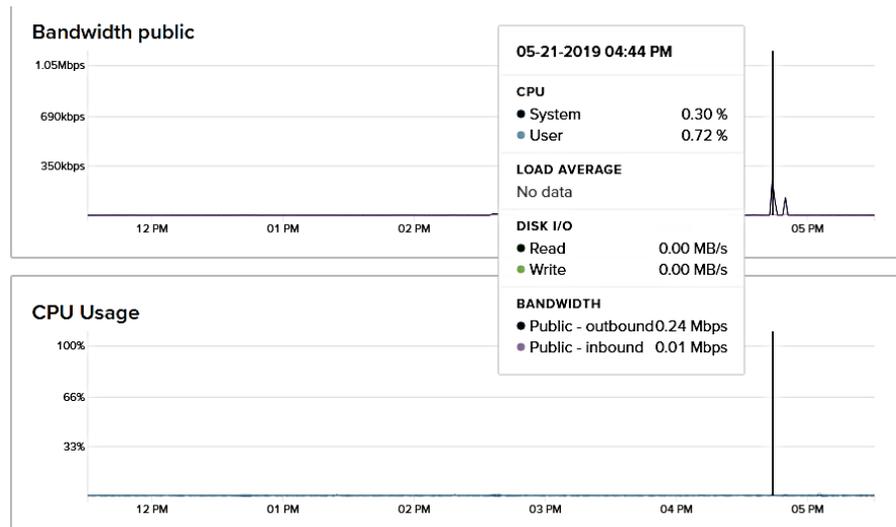


Figura 61 Evaluación ancho de banda y consumo CPU

Fuente: (Digital Ocean)

El droplet al tener una tasa de transferencia máxima 1000 Gb al mes y si suponemos un tiempo de trabajo de la maquina es de 8 horas al día por 20 días al mes se tiene 576000 segundos de trabajo. Con una tasa de transferencia de 0.24Mbps nos da que al mes un consumo en la tasa de transferencia de 138240 Mb que equivale 138.24 Gb de transferencia al mes.

A continuación, se detalla la implementación de las interfaces graficas implementadas tanto local como en la nube. En la Figura 61 se visualiza la interfaz local ya inicializada, en el numeral 1 podemos observar los controles generales de la maquina como son encendido general del proceso y el paro de emergencia, en el numeral 2 se posiciona las gráficas de barras de producción diaria la cual se actualizará cada hora durante la jornada laboral, en el numeral 3 se indican los estados generales de la maquina como el estado de encendido, si se ha activado el paro de emergencia y las fundas producidas hasta ese instante, en el numeral 4 se indica el estado de los actuadores del dosificador como son los vibradores de los diferentes canales y finalmente en el numeral 5 se puede observar la configuración del dosificador, mediante un listbox con pesos determinados y un botón de confirmación para aceptar el cambio de peso elegido.

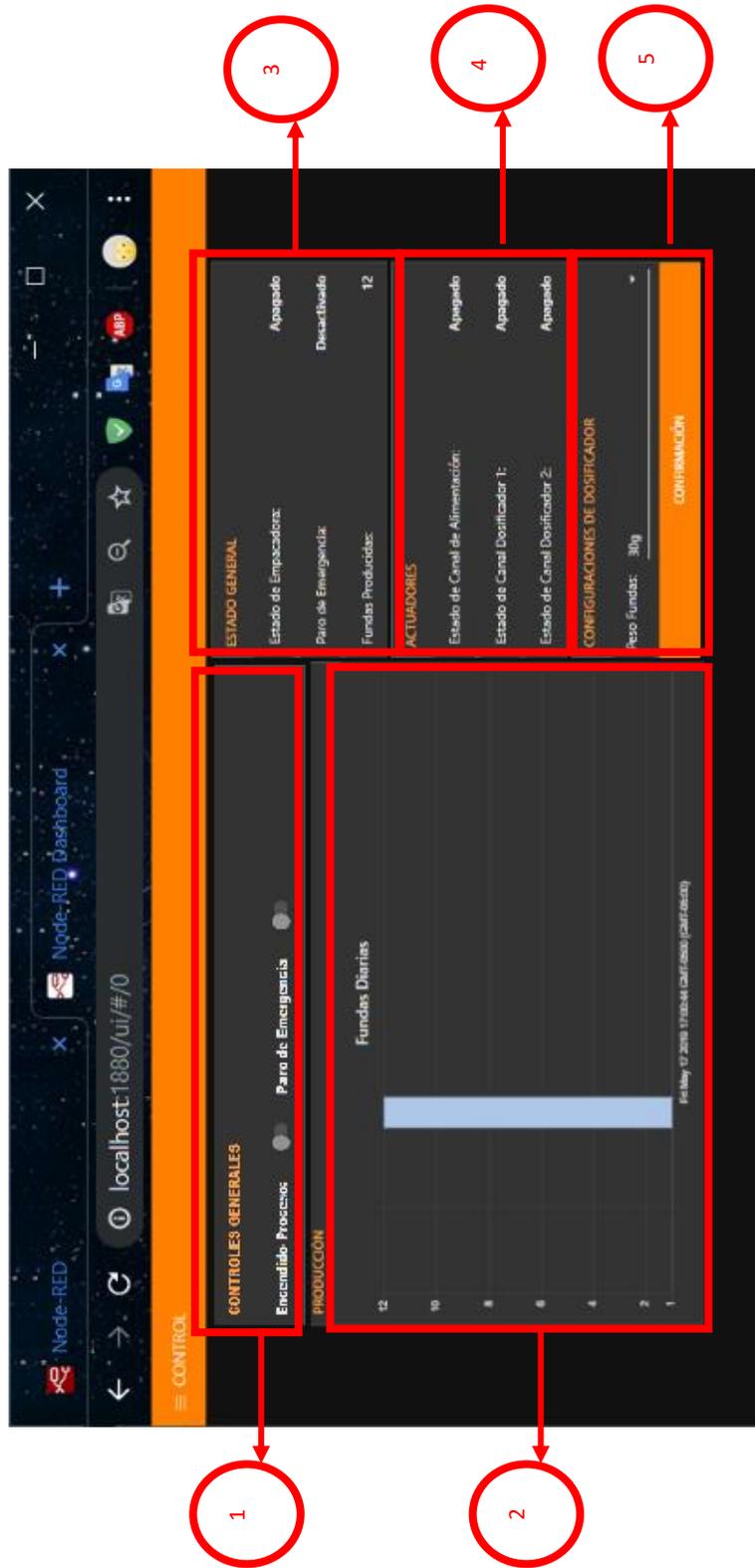


Figura 62 HMI local

En la Figura 62 se visualiza la interfaz en la nube ya inicializada, en el numeral 1 podemos observar las gráficas de barras de producción diaria y semanal las cuales se visualizarán dependiendo la activación de los botones los cuales están marcados con el numeral 2 en la gráfica, el numeral 3 y 4 son configuraciones semejantes a los descritos en la interfaz local y en el



numeral 5 se puede observar la configuración correspondiente al peso confirmado en el HMI local.

Figura 63 HMI-nube (Dashboard)

4.3 Conclusiones y Recomendaciones

4.3.1 Conclusiones

- Se determinó que el sistema de dosificación implementado produce 6 dosificaciones por minuto con un error de 1.86% para dosificaciones de 30g con lo que se cumple las pautas requeridas por la empresa.
- Mediante la implementación de la maquina dosificadora se puede complementar la maquina empacadora con óptimo funcionamiento en todos sus procesos, cumpliendo estándares de calidad establecidos en producción.
- El dosificador cumple con las normas para maquinaria alimenticia en la aplicación de acero inoxidable en las superficies en contacto con el producto. Evitando así que el producto se contamine y los elementos sean de fácil limpieza.
- La evaluación del sistema de monitoreo refleja un desempeño muy eficiente en lo referente a escalabilidad y seguridad brindada por la pequeña arquitectura IoT diseñada. Lo cual implica que se ha desarrollado pequeñas plataformas con fundamentos a bases IoT a nivel industrial.

4.3.2 Recomendaciones

- El sistema de dosificación fue diseñado específicamente para snacks, si se diera el cambio de producto a dosificarse, este puede alterar el desempeño de la máquina en general.

- Se recomienda un cambio en el sistema formación de fundas, debido al sobreesfuerzo que produce el actual diseño de la máquina, cambiando el sistema de cadena por uno de motores y bandas de arrastre.
- Se plantea como un complemento a la maquinaria, un sistema de alimentación automatizado que llegue a la tolva de alimentación principal, esto debido al difícil acceso por la altura que presenta.

BIBLIOGRAFÍA

- Abhimatic. (08 de 01 de 2019). *http://www.abhimatic.com*. Obtenido de Soluciones Neumaticas: <http://www.vibtec.com/pdfs/Leaflet-02.pdf>
- Aguirre A., G. F. (22 de Febrero de 2018). *Sistema de dosificación para una máquina empaadora de Snacks*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec>: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7979/1/04%20MEC%20213%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Aiser. (2019). *Aire y Servicios S.A.* Obtenido de <http://www.aiser-ec.com>: <http://www.aiser-ec.com/general/productos>
- Alfapack. (2018). *Alfapack*. Obtenido de <http://www.alfapack.cl>: <http://www.alfapack.cl/dosificadores/dosificador-volumetrico/>
- ANSI/NSF3. (2001). American National Standard/NSF International Standard 3. *American National Standard*, 3.
- Arango, C. C. (2018). *COARA*. Obtenido de www.coara.com.ec: <https://www.coara.com.ec/productos/dosificadores/dosificador-por-peso-1-balanzas.html>
- Artigas, M. (2 de Agosto de 2016). *IIoT: cuando el Internet de las Cosas llega a la industria*. Obtenido de *IIoT: cuando el Internet de las Cosas llega a la industria*: https://www.openfuture.org/es/new/iiot_cuando_el_internet_de_las_cosas_llega_a
- Bachmann, V. (14 de Enero de 2012). *Tipos de servicios dentro del cloud computing*. Obtenido de <http://www.eoi.es>: <http://www.eoi.es/blogs/volkerbachmann/2012/01/14/tipos-de-servicios-dentro-del-cloud-computing/>
- Benazzouz, Y., Munilla, C., Gunalp, O., Gallissot, M., & Gurgun, L. (2014). (2014, March). Sharing user IoT devices in the cloud. In *Internet of Things (WF-IoT)*, . *IEEE World Forum* (págs. 373-374). IEEE.
- C. Catalán, F. S. (2015). Industria 4.0 en el Grado de Ingeniería Electrónica y Automática. In *Actas de las XXI Jornadas de la Enseñanza Universitaria de la Informática*, 327-332.
- Caldas, E. (9 de 1 de 2019). *Sensores de Fuerza / Peso / Estres*. Obtenido de <https://www.electronicoscaldas.com>: https://www.electronicoscaldas.com/sensores-de-fuerza-peso-estres/1269-celda-de-carga-para-5-kg-yzc-131a.html?fbclid=IwAR3bxA53F6Jgt5FuWYZx_Bn0LuZq204-PgVnCX7CuiDidRqjpYqK-Fr0l4c
- Cisco. (2010). *Securing the Internet of Things: A Proposed Framework*. Obtenido de <https://www.cisco.com>: <https://www.cisco.com/c/en/us/about/security-center/secure-iot-proposed-framework.html>

- Contigiani, M., Pollini, R., Sturari, M., Mancini, A., & Frontoni, E. (2017). IoT Architecture for the Processing of Data Collected by a Central Vacuum Cleaner. *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*. American Society of Mechanical Engineers.
- Disai. (8 de 1 de 2019). *Acoples Flexibles*. Obtenido de https://www.disai.net:https://www.disai.net/wp-content/uploads/catalogos_pdf/Acoplamientos.pdf
- Dol., S., & Bhing, R. (2018). SMART motor for industry 4.0. *In 2018 IEEMA Engineer Infinite Conference*, 1-6.
- Electroshop. (9 de 1 de 2019). *Celda de Carga*. Obtenido de <https://electronperdido.com/:https://electronperdido.com/shop/sensores/celda-de-carga-5kg/>
- Formulas, U. (2018). <https://www.universoformulas.com>. Obtenido de VOLUMEN DE UN TRONCO DE PIRÁMIDE: <https://www.universoformulas.com/matematicas/geometria/volumen-tronco-piramide/>
- Garcia, E. (2014). *Diseño y Construcción de Dosificadores*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1902/5/04%20Diseno>
- Iyer, S. (22 de Abril de 2017). *What are the benefits of a smart factory?* Obtenido de <https://www.quora.com:https://www.quora.com/What-are-the-benefits-of-a-smart-factory>
- KUNBUS. (9 de 1 de 2019). *Revpi Connect*. Obtenido de <https://revolution.kunbus.de:https://revolution.kunbus.de/shop/en/revpi-connect>
- Martín, E. C. (2010). Diseño higiénico del equipo de procesado de alimentos. *Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia.*, 4-6.
- Moreno Z., E. P. (22 de Enero de 2010). *Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de fundas para arroz*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec:http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1287/1/CD-2667.pdf>
- Mott, R. L. (2006). Diseño de elementos de máquinas. En R. L. Mott, *Diseño de elementos de máquinas* (pág. 234). Pearson educación.
- Naylamp. (9 de 1 de 2019). *Transmisor de celda de carga*. Obtenido de https://naylampmechatronics.com:https://naylampmechatronics.com/blog/25_tutorial-trasmisor-de-celda-de-carga-hx711-ba.html
- Norton, R. L. (1999). Diseño de máquinas. En R. L. Norton, *Diseño de máquinas* (pág. 501). Diseño de máquinas.
- Raspberry. (9 de 1 de 2019). *Products*. Obtenido de <https://www.raspberrypi.org:https://www.raspberrypi.org/products/raspberrypi-pi-3-model-b/>

- RS-Components. (2016). 11 redes inalámbricas fundamentales. *Revista Española de Electrónica S.L.*
- Sapiensman. (09 de 1 de 2019). <http://www.sapiensman.com>. Obtenido de Neumatica: <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica9.htm>
- Semle, A. (2016). Protocolos IIoT para considerar. *AADECA*, 32-35.
- Shigley, J. E. (1985). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Mexico: McGraw-Hill.
- Shih, C. S., Chuang, C. C., & Yeh, H. Y. (2017). Federating public and private intelligent services for IoT applications. In *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)* (págs. 558-563). IEEE.
- Siemens. (9 de 1 de 2019). *Products*. Obtenido de <https://mall.industry.siemens.com>: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7222-1HF32-0XB0>
- Siemens. (s.f.). *MindSphere - The Internet of Things (IoT) Solution*. Obtenido de MindSphere - The Internet of Things (IoT) Solution: <https://www.siemens.com/global/en/home/products/software/mindsphere.html>
- Sophimania, R. (28 de Marzo de 2017). *En 2020 habrá 25 mil millones de dispositivos conectados por el Internet de las cosas (IoT)*. Obtenido de <https://sophimania.pe>: <https://sophimania.pe/tecnologia/internet-tics-y-startups/en-2020-habra-25-mil-millones-de-dispositivos-conectados-por-el-internet-de-las-cosas-iot/>
- Sumitec. (8 de 1 de 2018). <http://www.sumiteccr.com>. Obtenido de Productos: <http://www.sumiteccr.com/productos.html>
- VIBROMAQ. (2018). *VIBROMAQ: Fábrica Argentina de Alimentadores Vibratorios*. Obtenido de <http://www.vibromaq.com>: <http://www.vibromaq.com/index.html>
- XCPC. (9 de 01 de 2019). *CJ2 Series Mini Cylinder*. Obtenido de <http://www.china-pneumatic.com>: <http://www.china-pneumatic.com/pneumatic-cylinder.html>