



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño, construcción e implementación de un sistema mecatrónico de dosificación y enrasado automático de polialuminio triturado para reducir el tiempo de producción de tableros y cubiertas, empleando IOT en la empresa ECUAPLASTIC SC.

Aguirre Flores, Ronny Paúl y Yaselga Cueva, David Ricardo

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

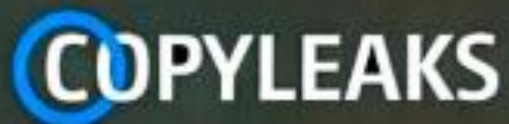
Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico

Ing. Singaña Amaguaña, Marco Adolfo

11 de agosto del 2022

Latacunga

REPORTE DE VERIFICACIÓN DE CONTENIDO

The logo for COPYLEAKS, featuring the word "COPYLEAKS" in white capital letters on a dark grey background. The letter "O" is stylized with a blue circular outline.

TESIS_Aguirre_Yaselga_FINAL.pdf

Scanned on: 16:20 August 11, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	83
Words with Minor Changes	39
Paraphrased Words	134
Omitted Words	480

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Marco Adolfo Singaña Amaguaña".

Ing. Singaña Amaguaña, Marco Adolfo

C.C.: 050162788-9



Departamento de Ciencias de la Energía Y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: "Diseño, construcción e implementación de un sistema mecatrónico de dosificación y enrasado automático de polialuminio triturado para reducir el tiempo de producción de tableros y cubiertas, empleando IOT en la empresa ECUAPLASTIC SC" fue realizado por los señores Aguirre Flores, Ronny Paúl y Yaselga Cueva, David Ricardo; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 11 de agosto del 2022

Ing. Singaña Amaguaña, Marco Adolfo

C.C.: 050162788-9



Departamento de Ciencias de la Energía Y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Aguirre Flores, Ronny Paúl** y **Yaselga Cueva, David Ricardo**, con cédula de ciudadanía N°1724971351 y N°1723926141 respectivamente, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Diseño, construcción e implementación de un sistema mecatrónico de dosificación y enrasado automático de polialuminio triturado para reducir el tiempo de producción de tableros y cubiertas, empleando IOT en la empresa ECUAPLASTIC SC"**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 11 de agosto del 2022


.....
Aguirre Flores, Ronny Paúl

C.C.: 172497135-1


.....
Yaselga Cueva, David Ricardo

C.C.: 172392614-1



Departamento de Ciencias de la Energía Y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Autorización de Publicación

Nosotros, **Aguirre Flores, Ronny Paúl** y **Yaselga Cueva, David Ricardo**, con cédula de ciudadanía N°1724971351 y N°1723926141 respectivamente, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Diseño, construcción e implementación de un sistema mecatrónico de dosificación y enrasado automático de polialuminio triturado para reducir el tiempo de producción de tableros y cubiertas, empleando IOT en la empresa ECUAPLASTIC SC."**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 11 de agosto del 2022

Aguirre Flores, Ronny Paúl

C.C.: 172497135-1

Yaselga Cueva, David Ricardo

C.C.: 172392614-1

Dedicatoria

Dedico el siguiente trabajo de titulación a mi familia, en especial a mis padres y a mi hermano. Quienes me han depositado en mí su confianza y apoyo durante mi formación académica, a mis amigos que se convirtieron en hermanos de otra madre durante los años de convivencia dentro y fuera de las aulas, a mi enamorada quien me apoyó y motivó siempre a ser mejor persona.

Ronny Aguirre

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a mis padres Nelson Aguirre y Blanca Flores, por los valores que me han inculcado, y consejos oportunos que me han brindado a lo largo de mi vida, agradecimiento especial mi hermano Patricio Aguirre y su esposa Carolina Castillo, por estar en todo momento para apoyarme y brindarme el aliento necesario. Agradezco a mi familia por apoyarme de manera directa o indirecta durante mi formación académica. Mis amigos, quienes han estado en las risas y en los momentos difíciles. A mi enamorada Katherine Medina por brindarme su apoyo y amor incondicional. Finalmente agradezco a la Empresa ECUAPLASTIC y a mi tutor académico por permitirme desarrollar este proyecto que ha sido un reto, pero también un sueño.

Ronny Aguirre

Dedicatoria

Dedico el siguiente trabajo de titulación a mi familia, quienes han sabido estar conmigo en todo momento, especialmente en los más difíciles. También a mis amistades de la universidad ya que sin ellos la carrera y esta etapa finalizada sería mucho menos memorable. Para todo aquel que en su momento creyó en mí y supo apoyarme con palabras pensamientos o acciones. A Mishell le dedico este gran triunfo por siempre estar a mi lado cuando la necesitaba y motivarme a ser siempre mejor.

David Yaselga

Agradecimiento

Mi más grande agradecimiento siempre será hacia mis padres por siempre estar pendientes de que no me falte nada para seguir adelante, para estar con salud y sobre todo para ser feliz, siempre estarán primeros en mi corazón. A mi hermana, por siempre brindarme un par de oídos y muchos consejos, por siempre preocuparse, empatizar conmigo, y compartir muchos momentos amenos juntos. A mis amigos quienes siempre han sabido apoyarme y con quienes hemos sabido encontrar hermandad. A Mishell por su gran ayuda, paciencia, comprensión y ánimo. Finalmente agradezco a la Empresa ECUAPLASTIC ECOSOLUTIONS S.A. por creer en mí y a mi tutor académico por darme la oportunidad de cumplir este maravilloso sueño.

David Yaselga

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Dedicatoria	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenidos.....	10
Índice de tablas.....	14
Índice de figuras	15
Resumen	18
Abstract.....	19
Capítulo I: Introducción.....	20
Antecedentes.....	20
Planteamiento del problema.....	21
Descripción resumida del proyecto	22
Justificación e importancia	23
Objetivos.....	24

<i>Objetivo general</i>	24
<i>Objetivos específicos</i>	24
Hipótesis.....	25
Capítulo II: Fundamentación e investigación teórica	26
Introducción	26
Tetra Brik.....	26
Sistemas de dosificación.....	27
Estado actual de moldeo y dosificado de PeAl.....	30
Sistemas Mecatrónicos.....	30
Elementos de un sistema mecatrónico.....	31
Sensores	32
Actuadores.....	32
Arquitectura de control digital.....	32
CAD Diseño Asistido por Computadora	33
CAE Ingeniería Asistida por Computadora	33
Industria 4.0	33
Raspberry pi en aplicaciones de IIOT	33
Comunicación industrial e IoT	34
Protocolo TCP/IP	35
Sistemas SCADA	36
Servidor OPC	37

<i>Bus de transmisión EIA-485</i>	37
<i>Modbus</i>	37
<i>Snap 7</i>	39
<i>Node Red</i>	39
<i>Ubidots</i>	39
Capítulo III: Diseño y selección de componentes del Sistema Mecatrónico	40
Consideraciones de diseño	40
<i>Diseño para la industria (DPI)</i>	40
<i>Diseño para el ambiente (DPA)</i>	44
<i>Diseño para la manufactura (DPM)</i>	45
Validación CAE (Ingeniería asistida por computador)	70
Capítulo IV: Implementación del Sistema Mecatrónico	72
Generalidades	72
Estructura principal	72
Tolvas de almacenamiento	73
Mezclador-Homogeneizador	74
Rodillos de alimentación	75
Montaje de motores y transmisión	76
Implementación de control	77
Configuración IOT	79
Análisis de costos	88

Capítulo V: Pruebas y resultados	91
Pruebas y Resultados.....	91
Planteamiento de Hipótesis.....	91
<i>Hipótesis</i>	<i>91</i>
<i>Variables de la investigación</i>	<i>91</i>
<i>Comprobación de la hipótesis.....</i>	<i>91</i>
Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones	102
<i>Conclusiones</i>	<i>102</i>
<i>Recomendaciones</i>	<i>104</i>
Bibliografía	105
Glosario de términos	108
Anexos	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Propiedades del Polialuminio</i>	27
Tabla 2 <i>Tipos de dosificadores</i>	28
Tabla 3 <i>Áreas funcionales y aspectos correspondientes</i>	43
Tabla 4 <i>Parámetros para considerar en el diseño de la estructura</i>	63
Tabla 5 <i>Recursos materiales</i>	89
Tabla 6 <i>Pruebas de lotes manual y máquina</i>	91
Tabla 7 <i>Pruebas de Normalidad al dosificado manual</i>	93
Tabla 8 <i>Resultado Test de Shapiro Wilk manual</i>	94
Tabla 9 <i>Pruebas de Normalidad al dosificado por máquina</i>	95
Tabla 10 <i>Resultado Test de Shapiro Wilk máquina</i>	95
Tabla 11 <i>Hipótesis Nula y Alternativa</i>	96
Tabla 12 <i>Comparativa de muestras</i>	98
Tabla 13 <i>Resultado T de Student: muestras relacionadas</i>	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Proceso actual de moldeo y dosificado</i>	30
Figura 2	<i>Mecatrónica y sus disciplinas</i>	31
Figura 3	<i>Elementos de un sistema mecatrónico</i>	32
Figura 4	<i>Transmisiones y recepciones de datos en el protocolo TCP/IP</i>	35
Figura 5	<i>Modelo Pila OSI – Modelo Pila TCP/IP</i>	36
Figura 6	<i>Sistema Modbus TCP y Modbus RTU</i>	38
Figura 7	<i>Necesidades reflejadas en métricas</i>	41
Figura 8	<i>Bosquejo del sistema de dosificado</i>	42
Figura 9	<i>Esquema P&ID del proceso</i>	42
Figura 10	<i>Sistemas y subsistemas</i>	43
Figura 11	<i>Reciclaje del Tetra Brik</i>	44
Figura 12	<i>Prisma rectangular</i>	47
Figura 13	<i>Prisma trapezoidal</i>	47
Figura 14	<i>Ángulo de reposo</i>	48
Figura 15	<i>Flujo másico</i>	49
Figura 16	<i>Parámetros de la tolva</i>	50
Figura 17	<i>Dimensionamiento de tolva</i>	52
Figura 18	<i>Fuerzas aplicadas en las varillas</i>	58
Figura 19	<i>Diagrama de fuerzas aplicadas en la varilla</i>	58
Figura 20	<i>Dibujo de hélices</i>	60
Figura 21	<i>Descomposición de la fuerza</i>	60

Figura 22 <i>Carga distribuida en la platina</i>	61
Figura 23 <i>Diseño geométrico considerado para la selección del perfil</i>	64
Figura 24 <i>Propiedades del tubo cuadrado</i>	65
Figura 25 <i>Fuerzas que actúan en la columna</i>	65
Figura 26 <i>Tipos de fijación de columnas</i>	66
Figura 27 <i>Criterios para esfuerzos de diseño</i>	67
Figura 28 <i>Geometría de la sección y propiedades para el diseño</i>	68
Figura 29 <i>Viga de mayor carga</i>	68
Figura 30 <i>Diagrama de fuerza cortante y momento flector</i>	70
Figura 31 <i>Análisis estático estructural-Estructura</i>	70
Figura 32 <i>Análisis estático estructural-Homogeneizador</i>	71
Figura 33 <i>Armado de la estructura principal</i>	73
Figura 34 <i>Montaje de tolvas en la estructura</i>	74
Figura 35 <i>Construcción de homogeneizador</i>	75
Figura 36 <i>Rodillos de alimentación de las tolvas</i>	76
Figura 37 <i>Montaje de motores y transmisión</i>	76
Figura 38 <i>Máquina construida y modelo CAD</i>	77
Figura 39 <i>Gabinete de control</i>	78
Figura 40 <i>Raspberry Pi 3</i>	78
Figura 41 <i>Configuración de IP en Tia Portal</i>	79
Figura 42 <i>Configuración PUTGET en TIA PORTAL</i>	80
Figura 43 <i>Acceso optimizado inhabilitado en TIA PORTAL</i>	81

Figura 44 <i>Creación de variables en TIA PORTAL</i>	82
Figura 45 <i>Creación de datos booleanos en TIA PORTAL</i>	82
Figura 46 <i>Instalación de node red contrib S-7</i>	83
Figura 47 <i>Configuración Nodo IN de S-7</i>	84
Figura 48 <i>Asignación de variables en Lista</i>	84
Figura 49 <i>Asignación de variable al Nodo In</i>	85
Figura 50 <i>Configuración de Nodo Debug y forzado</i>	86
Figura 51 <i>Dashboard en Node Red</i>	86
Figura 52 <i>Bloque de función y programación</i>	87
Figura 53 <i>Configuración de nodo ubidots_out</i>	87
Figura 54 <i>Verificación de variables en Ubidots</i>	88
Figura 55 <i>Creación de Dashboards en Ubidots</i>	88
Figura 56 <i>Prueba T de Student: Muestras relacionadas</i>	97
Figura 57 <i>Visualización en dispositivos móvil</i>	101

Resumen

En el presente proyecto se ha realizado el diseño, construcción e implementación de un sistema mecatrónico de dosificación y enrasado de partículas de polialuminio triturado de reciclaje, para la fabricación de tableros conformados mediante la aplicación de termoformado. Se parte del estudio del estado actual de dosificado a nivel nacional e internacional, la recolección de información referente a las propiedades mecánicas de las partículas y el comportamiento de estas. La selección de elementos mecánicos, electrónicos y dispositivos de control industriales, los cuales determinan la secuencia programada que el sistema ejecuta durante el proceso de principio a fin. Se aplica el diseño para la industria, para garantizar el funcionamiento durante jornadas extensas de trabajo, adicionalmente se considera el diseño para el ambiente y diseño para la manufactura; las consideraciones geométricas necesarias para que el material sea dosificado y enrasado correctamente durante el proceso.

Adicionalmente se aplica una red IOT con gestión de datos en la nube mediante el uso de un autómatas PLC y un sistema embebido Raspberry que permitirá la integración del autómatas a la red, con la cual se validará mediante análisis estadístico la disminución del tiempo de moldeo de tableros Ecopak y cubiertas que requiere la empresa ECUAPLASTIC SC.

Palabras clave: dosificación, polialuminio sistema mecatrónico, internet de las cosas.

Abstract

In this project, the design, construction and implementation of a mechatronic system for dosing and leveling of recycled crushed polyaluminum particles has been carried out, for the manufacture of shaped boards through the application of thermoforming. It is based on the study of the current state of dosing at national and international level, the collection of information regarding the mechanical properties of the particles and their behavior. The selection of mechanical, electronic elements and industrial control devices, which determine the programmed sequence that the system executes during the process from start to finish. The design for the industry is applied, to guarantee the operation during long working hours, additionally the design for the environment and the design for manufacturing are considered; the geometric considerations necessary for the material to be dosed and leveled correctly during the process. Additionally, an IOT network with data management in the cloud is applied through the use of a PLC automaton and a Raspberry embedded system that will allow the integration of the automaton to the network, with which the decrease in the molding time of Ecopak boards and covers required by the company ECUAPLASTIC SC.

Keywords: dosing, polyaluminum, mechatronic system, internet de las cosas.

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

Desde la revolución industrial se ha consumido recursos naturales y no naturales de manera acelerada, desatando en el ser humano la necesidad de consumir productos envasados con mayor frecuencia.

Es por esto que la utilización de productos plásticos se ha vuelto un problema, ya que cada vez es más difícil conseguir que sea aprovechado en su totalidad. Por dicha razón a nivel regional se intenta cambiar esta situación y se plantea reciclar, y brindar una segunda o tercera vida útil al plástico y aluminio que se obtiene de los empaques Tetrapak utilizados en los envases de alimentos de primera necesidad como son leche, yogurt o jugos, etc. Brasil es uno de los países pioneros en abordar esta situación y conseguir un cambio significativo, aportando a su país y a Latinoamérica con el reciclaje de Tetrapak, descomponiéndolo y a través de un proceso, fabricar tableros conformados de polialuminio.

El dosificado de polialuminio triturado es una de las etapas iniciales de dicho proceso, del cual no existe registro de automatización como tal, haciendo uso del recurso humano para dicha tarea, la cual es perjudicial para la salud ya que requiere el esfuerzo repetitivo del personal durante la jornada laboral.

La empresa de reciclaje ECUAPLASTIC SC requiere mejorar sus tiempos de producción de tableros conformados y de cubiertas termo acústicas, razón por la cual apuestan por la automatización de ciertos procesos para su fabricación.

La implementación de las IOT en la industria es cada vez más común y la industria 4.0 está ligada; ha incorporado una mayor flexibilidad e individualización de los procesos en las fábricas, este concepto referente a la cuarta revolución industrial es relativamente nuevo y tiene como objetivo realizar adaptaciones a los equipos ya instalados que permitan así la comunicación y el desarrollo de la cuarta revolución industrial.

Planteamiento del problema

El mundo entero tiene un problema de consumismo acelerado y con los productos plásticos no es la excepción, siendo la acumulación en vertederos de los desechos plásticos y los envases de Tetra Brik uno de los mayores problemas a los que se enfrenta el medio ambiente y los océanos del mundo, debido al largo tiempo que toma descomponer dichos envases. Por tanto, el reciclaje de polialuminio es una necesidad ambiental mundial. No obstante, los avances tecnológicos en materia de la industria 4.0 han aumentado de manera significativa y la industria ecuatoriana se ha ido relegando en cuestión de innovación, ligando así el reporte constante del supervisor de producción al área administrativa, lo que representa un inadecuado manejo del tiempo y a su vez implica elevados costos.

Ecuador cuenta con la empresa Ecuaplastic para el reciclaje y reutilización de envases, la cual se dedica a la elaboración de tableros y cubiertas con el polialuminio, presentando una alta demanda gracias a la versatilidad del producto, sin embargo, en la estructura actual de producción no logra satisfacer del todo la demanda requerida. Los operarios del área de dosificado y enrasado, trabajando a jornadas completas y en turnos nocturnos, realizan manualmente gran parte del proceso, en el cual un grupo de obreros cargan repetidamente contenedores cilíndricos del material en bruto, preparan la estructura de molde para los tableros e intervienen al llevar los moldes llenos hacia la prensa; realizan también la labor de dosificación y enrasado de material; de modo que la labor por turno se vuelve extenuante, aumentando la probabilidad de lesiones laborales en la columna, hombros, manos y dedos.

Debido a lo mencionado previamente no logran cumplir con los tiempos de producción que requiere la fábrica, y se genera un cuello de botella en el proceso productivo en la fabricación de tablero; específicamente en el área de dosificación y enrasado se logra producir entre 50 y 100 kilogramos por hora, lo cual es una cifra relativamente baja para las metas de producción.

Descripción resumida del proyecto

El proyecto parte desde el estudio de información actualizada sobre el proceso de dosificación y enrasado de escamas de polialuminio a nivel nacional y regional, con el objetivo de tener un punto de partida para el diseño, simulación y construcción de un sistema mecatrónico de dosificación y enrasado de polialuminio triturado para la fabricación de tableros conformados.

Los elementos mecánicos se complementan con el sistema eléctrico y dispositivos de control industriales, los cuales determinan la secuencia que el sistema ejecuta durante el proceso de principio a fin, además se contempla el uso de sensores, actuadores y dispositivos electrónicos de control industrial, para determinar las etapas dentro del proceso.

Se aplica el diseño para la industria, para garantizar el funcionamiento durante jornadas extensas de trabajo; y las consideraciones geométricas necesarias para que el material sea dosificado y enrasado correctamente durante el proceso.

Se realizará, además la integración de una red IOT con gestión de datos en la nube mediante el uso de un autómatas PLC y una raspberry-Pi3 Modelo B que permitirá la integración del autómatas a la red. Permitiendo así que el gerente propietario acceda a la información correspondiente al sistema a cualquier hora del día.

Finalmente, se realizará la respectiva evaluación del funcionamiento del sistema mecatrónico y se validará la disminución del tiempo de moldeo de tableros y cubiertas que requiere la empresa ECUAPLASTIC SC y la implementación de la red IOT, con el fin de gestionar la información subida a la nube y tomar acciones sobre la misma.

Justificación e importancia

La empresa Ecuaplastic se beneficia con el diseño y construcción de un sistema mecatrónico para el proceso de dosificado de partículas de PEAl (Polietileno-Aluminio) ya que reduce el tiempo de dosificado y aumenta el volumen de producción de tableros y cubiertas.

La materia prima de los tableros y cubiertas proviene del reciclaje de envases de Tetrapak, los cuales se componen de polialuminio y cartón, una vez extraído el cartón, el polialuminio se contamina con humedad, la cual incide directamente en la calidad del producto terminado debido a la formación de aglomeraciones.

La validación computacional por medio de software especializado garantiza la validez del diseño más allá de los cálculos realizables a mano por los diseñadores, haciendo factible la elección de un diseño geométrico en específico como antecedente de cara a una implementación industrial de campo.

Es preciso realizar el presente proyecto con una implementación inicial de tecnología referente a la cuarta revolución industrial, ya que hasta la fecha en el Ecuador no se han realizado investigaciones o sistemas físicos referentes a la dosificación automática y uniforme de escamas de polímeros enfocada al área de material compuesto reciclado en una línea de producción, además del beneficio implícito al reducir el impacto físico en la jornada laboral de los operarios del área de moldeo y enrasado, y la adquisición y gestión de datos en la nube, para su interpretación correspondiente al personal administrativo en tiempo real.

El presente proyecto incide de manera directa en mitigar los efectos nocivos al medio ambiente, ocasionados por los desechos sólidos de plásticos y metales livianos (Envases Tetra Brik, blíster de pastillas, envolturas de dulces, sorbetes, etc.); ya que incrementa la capacidad de procesamiento y reutilización de dichos materiales, convirtiéndolos en productos terminados, aptos para diversas aplicaciones.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar, construir e implementar un sistema mecatrónico de dosificación y enrasado automático de polialuminio triturado para reducir el tiempo de producción de tableros y cubiertas, empleando IoT en la empresa ECUAPLASTIC SC.

Objetivos específicos

- Investigar el estado del arte correspondiente a sistemas de dosificación y enrasado de polialuminio reciclado triturado.
- Identificar las etapas que intervienen en el proceso actual de dosificación de polialuminio, así como requerimientos específicos brindados por la empresa.
- Recopilar información correspondiente al tiempo de moldeo actual de tableros Eco Pak y cubiertas.
- Investigar el estado del arte referente a sistemas de dosificación, propiedades del polialuminio triturado y proporcionar un concepto de sistema mecatrónico de dosificación y enrasado.
- Diseñar los componentes mecánicos (estáticos y dinámicos) y eléctricos correspondientes a los sistemas de recepción, mezcla, dosificado y enrasado de material PEAl.
- Analizar y seleccionar materiales que satisfagan las aplicaciones en entornos industriales basándose en los enfoques de diseño industrial, diseño para la manufactura y diseño para el ambiente.
- Establecer el algoritmo de control para implementarlo en las etapas de dosificado mediante dispositivos de control electrónico.
- Analizar el comportamiento de los subsistemas mediante pruebas software in the loop y hardware in the loop.

- Definir los diagramas de operaciones de procesos para la manufactura de partes específicas de los distintos subsistemas.
- Integrar los subsistemas y componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos de control en la construcción física del sistema funcional.
- Implementar una red IOT con el uso de protocolos de comunicación estándar, para la adquisición y gestión de los datos referentes a producción.
- Analizar el impacto de la implementación del sistema mecatrónico de dosificado y enrasado automático, en la disminución del tiempo de moldeo de tableros Eco Pak y cubiertas.

Hipótesis

¿El diseño, construcción e implementación del sistema mecatrónico de dosificación y enrasado automático de polialuminio triturado empleando IOT, reducirá el tiempo de producción de tableros y cubiertas?

Capítulo II

Fundamentación e Investigación Teórica

Introducción

En el presente capítulo se detalla los conceptos más relevantes referentes al proyecto de dosificación de material Pe-Al y a la gestión de la información que da paso a la industria 4.0.

La información actual del proceso de reciclaje de Polialuminio y Tetrapak a nivel regional y las propiedades correspondientes a dicho material, además de los diferentes tipos de sistemas de dosificación.

Adicionalmente se realiza una introducción a los materiales, herramientas de simulación y componentes eléctricos y electrónicos que permiten la realización del sistema mecatrónico.

Tetra Brik

La Empresa Tetra Pak se encargó de fabricar uno de sus productos más conocidos y de gran vida útil, el cual es el Tetra Brik, que está básicamente formado por seis capas que aíslan el producto del entorno y garantiza que éste se encuentre en buenas condiciones para su consumo durante un gran periodo de tiempo sin haber recurrido a químicos para su conservación y sin necesidad de refrigeración. (Reciclario, s.f.)

Composición Tetrabrik

El Tetrabrik está compuesto por seis capas, las cuales se encargan de aislar al producto del ambiente, en la primera capa se tiene polietileno muy fino que protege evita la humedad en su parte más exterior.

La segunda capa se encarga de dar la rigidez del envase, ya que está hecho de cartón en el cual se imprime la marca y demás información correspondiente, éste es cien por ciento de celulosa del bosque que proviene del sur de Brasil con certificado FSC.

La tercera capa se encarga de unir el cartón y el Aluminio, con una capa de polietileno. La siguiente capa es el Aluminio que protege al producto del oxígeno y de la luz externa.

La quinta capa es básicamente Polietileno para ayudar a unir al aluminio.

Mientras que la sexta capa es Polietileno que se encarga de aislar al producto de las capas del envase. Todo este material es sellado a presión, evitando de esta manera el pegamento. (Reciclario, s.f.)

Por consiguiente, la composición del Tetra Brik en porcentaje es: Papel 75% - Polietileno baja densidad 20% - Aluminio 5%. En la tabla 1 se presenta las propiedades mecánicas del Polialuminio.

Tabla 1

Propiedades del Polialuminio

Propiedades	Valor	Unidad
Tensión a la ruptura	10.9	<i>MPa</i>
Elongación a la ruptura	38.8	%
Módulo elástico	177.6	<i>MPa</i>
Resistencia al impacto Izod	302.0	<i>MPa</i>
Conductividad eléctrica	1.11×10^{-8}	<i>S/cm</i>
Densidad	0.09179	<i>g/cm³</i>

Nota. Se indica las propiedades físicas y mecánicas del material, que serán consideradas para el diseño de la máquina. Tomado de (Barrera, 2015)




Sistemas de dosificación

Con el fin de dosificar una mezcla de materiales es necesario conocer la medida que se desea mezclar, para fines prácticos en el presente proyecto se separa una variedad de polialuminio con mayor cantidad de aluminio y otra con menor porcentaje de este, dejando en claro que se debe realizar la dosificación por etapas, debido a que el tablero se conforma de tres capas alternadas entre dichas mezclas, por consiguiente, se investiga los diferentes sistemas de dosificación; como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2

Tipos de dosificadores

TIPOS	CARACTERÍSTICAS	APLICACIONES	IMAGEN
Dosificación por gravedad	Es un contenedor en forma de cilindro que mediante una boya permite la alimentación de este y que en la parte inferior tiene una llave de paso que es controlada por la envasadora y de esta forma permite la dosificación de líquido	Mayormente utilizado en líquidos, bebidas, agua, etc.	
Por Cinta Transportadora	La cinta es la que se encarga de dejar caer el material y sus compuertas que regulan el caudal	Partículas pequeñas, menores a 4 mm en especial de consistencia árida	
Canal Vibrante	Interiormente existe vibración, y canales por los cuales el material es dosificado hacia una balanza en cada intervalo de la máquina	Partículas sin forma determinada, utilizado en rocas o caramelos, etc.	

TIPOS	CARACTERÍSTICAS	APLICACIONES	IMAGEN
Tornillos Sinfín	Un tornillo sin fin en el cual se regula el número de vueltas que da en función del gramaje y el tipo de Producto dosificado, mismo que se encuentra en una tolva cónica.	Polvos, especias, colorantes	
Por Pistón	Corresponde a la expulsión de líquidos por medio de un pistón el cual al final de la tobera alberga una funda a ser llenada.	Productos de aseo líquido, shampo, jabón líquido, bebidas y licores, etc.	
Volumétricos	Consiste en una tolva de alimentación constante, la calibración determina el volumen del material. La dosificación depende de las características del material y el flujo constante.	Productos como granos, azúcar, etc.	

Nota. Representa a los diferentes tipos de dosificadores de materiales en la industria, Tomado de (Roger Álvarez, 2014).

Estado actual de moldeo y dosificado de PeAl

En la actualidad en la empresa ECUAPLASTIC el moldeo y dosificado de Polialuminio lo realizan dos personas de forma manual, como se visualiza en la figura 1. Comenzando por el pesaje de las virutas de PeAl dentro de un contenedor cilíndrico plástico, y drenando sobre un molde rectangular, para después pasar un perfil cuadrado para retirar el exceso (enrasar).

Figura 1

Proceso actual de moldeo y dosificado

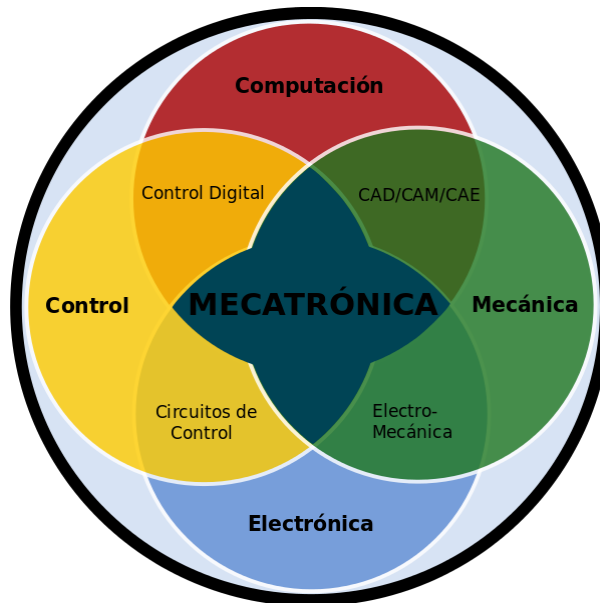


Sistemas Mecatrónicos

Los sistemas mecatrónicos es la combinación de áreas como son: La ingeniería mecánica, la ingeniería electrónica y de control; con el fin de obtener un sistema que satisfaga un requerimiento en el ámbito industrial o educativo. En la figura 2 mostrada a continuación se puede evidenciar la relación de varias ramas ingenieriles que confluyen en la mecatrónica.

Figura 2

Mecatrónica y sus disciplinas



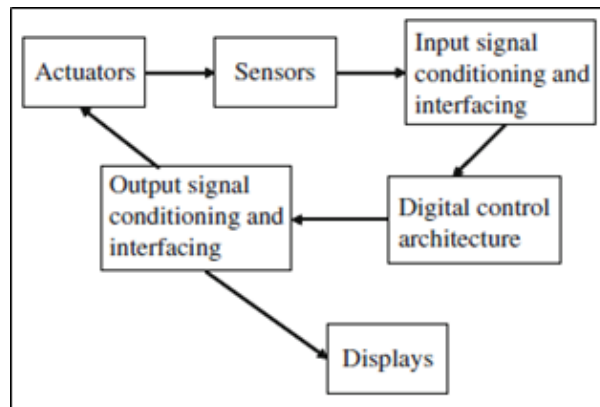
Nota. El diagrama de Venn representa las ramas de la Ingeniería que conforman a la Mecatrónica. Tomado de (Najera, 2009)

Elementos de un sistema mecatrónico

Los sistemas mecatrónicos en general, constan de elementos de adquisición de información de las variables consideradas en el diseño, un acondicionamiento de la señal de éstos; junto con una arquitectura de control digital que integra los elementos de efecto sobre dichas variables con elementos de supervisión para el personal usuario, tal como se muestra en la figura 3.

Figura 3

Elementos de un sistema mecatrónico



Nota. Descripción de los elementos que conforma un sistema mecatrónico. Tomado de (Merzouki, et al., 2012).

Sensores

Son elementos que cumplen la tarea de captar magnitudes físicas que se encuentran en el ambiente y traducirlas a variables cuantitativas, las cuales son compatibles con el microcontrolador y el entorno de programación que se plantea utilizar.

Actuadores

Son elementos finales de control, los cuales cumplen la tarea de realizar una acción de acuerdo con un estímulo eléctrico, que previamente se controló.

Entre ello, sus acciones pueden ser de tipo eléctrico, neumático, hidráulica, etc.

Arquitectura de control digital

En la arquitectura de control digital se encuentran todos los elementos necesarios para cerrar el ciclo del sistema mecatrónico, en ella se encuentran todos los elementos electrónicos que intervienen en el control de procesos, interacción con los operarios, autodiagnóstico y demás funciones electrónicas e informáticas que son características de un sistema mecatrónico.

CAD Diseño Asistido por Computadora

El diseño asistido por computador es una herramienta informática que brinda la posibilidad de crear, modificar y analizar diseños gráficos con gran precisión y garantiza una aproximación al diseño final.

CAE Ingeniería Asistida por Computadora

La Ingeniería Asistida por Computador es una herramienta utilizada por varias empresas y profesionales que hacen uso del software para realizar análisis de tipo: estático, dinámico térmicos y de fluidos, etc. Todo esto con el afán de garantizar el desarrollo adecuado de proyectos de ingeniería, además garantizar la detección de errores previo a la construcción de maquinaria y productos. (Equipo_ESSS, 2014)

Industria 4.0

El objetivo de la industria 4.0 es brindar individualidad a los sistemas o procesos en el ámbito industrial. Lo que se pretende es intercomunicar equipos que se adapten a esta nueva revolución, dejando así obsoletos sistemas antiguos y dando paso a una nueva forma de comunicación y el desarrollo de la Industria 4.0.

Raspberry pi en aplicaciones de IIOT

El sistema embebido Raspberry Pi faculta la vinculación con autómatas programables, permitiendo la publicación y gestión de la información en la nube. Haciendo uso de protocolos como TCP/IP. Tomando en cuenta que la tarjeta Raspberry Pi es una herramienta de procesamiento y comunicación, por lo cual no necesita de mayor robustez debido a que se encuentra aislada del entorno industrial.

Raspberry Pi es una alternativa de bajo costo a otros sistemas de IOT como es “Siemens SIMATIC IOT 2040”, brindando características y confiabilidad muy cercanas a dicho componente.

Comunicación industrial e IoT

La comunicación industrial es el área que ha evolucionado significativamente en la última década debido al gran avance tecnológico. Desde las transmisiones a través de señales analógicas individuales (4-20 mA) hasta los buses de campo, se han ido aplicando diversos protocolos de comunicación que han logrado adaptarse a los requerimientos de los equipos de transmisión y recepción.

Por ello, a partir de la creación del Internet se ha convertido en la red de comunicación universal; y gracias a éste, se obtuvieron los avances necesarios para originar las redes actuales. De acuerdo con (Javvin Technologies Inc., 2005, p. 16), un grupo de ingenieros y organizaciones mundiales desarrollaron Internet enlazando diferentes familias de protocolos TCP/IP, lo que desencadenó una serie de eventos, entre ellos, la formación de una red local para ordenadores a la cual se le denomina Ethernet. Ésta consiguió posicionarse rápidamente como el principal protocolo del nivel de enlace del modelo OSI, logrando así una expansión a nivel mundial, llegando a convertirse en la base del desarrollo de la mayoría de los aspectos de la vida diaria de todas las personas (Hernando, 1991, p. 38).

Actualmente, la globalización ha desencadenado la necesidad de una conexión constante, permitiendo la supervisión y control de cualquier equipo que esté conectado a Internet. Lo cual ha demandado un desarrollo de sensores y tecnologías de comunicación en conjunto con el fin de recolectar datos con la mayor calidad posible con una facilidad de comunicación rampante y un costo en declive. Como nos sugiere el texto de (Rosero, et al., 2017)

Varias corporaciones a nivel mundial se han encargado de trabajar en la arquitectura y los protocolos que se deben tomar en cuenta para desarrollar aplicaciones de IoT con el fin de que exista compatibilidad entre dispositivos. Una de ellas es el editor de flujo basado en el navegador Node RED.

Para la implementación de esta arquitectura de red es necesario considerar los protocolos a disposición y seleccionar la opción adecuada para la aplicación, evitando costos excesivos sin sacrificar fidelidad o velocidad.

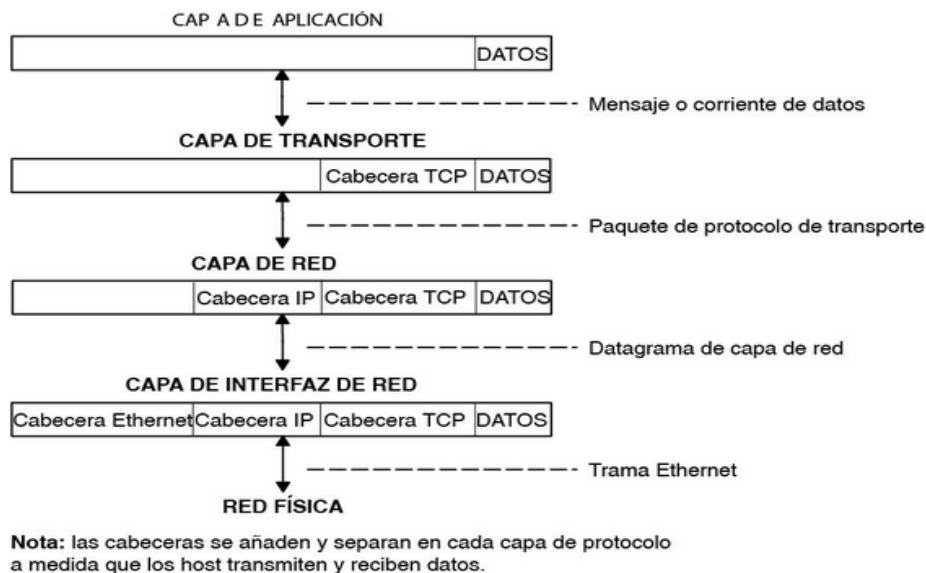
Protocolo TCP/IP

La información que se intercambia entre programas y máquinas no son más que una agrupación de mensajes que manejan un mismo formato o protocolo de comunicación, este se maneja en niveles o capas y es eficiente para que el sistema principal interprete de manera correcta un mensaje. (IBM, 2021)

Esto se puede interpretar a manera de escalera, donde los datos viajan por cada piso de forma bidireccional, pero en un sentido por vez, de modo que cada mensaje se envía y recibe de manera ordenada; como se visualiza en la figura 4.

Figura 4

Transmisiones y recepciones de datos en el protocolo TCP/IP



Nota. La figura muestra como las cabeceras de datos son añadidas y separadas en cada interacción, esto se da a medida que los hosts transmiten y reciben datos. Tomado de IBM (2021).

El motivo por el cual se ha decidido basar la arquitectura en el modelo TCP/IP más que en el modelo OSI se puede detallar mejor en la siguiente figura:

Figura 5

Modelo Pila OSI – Modelo Pila TCP/IP



Nota. La figura muestra las similitudes del modelo OSI con el modelo TCP/IP, en el cual se evidencia el agrupamiento de 3 niveles en uno gracias a los encabezados generados en el protocolo. Tomado de (Erdozain Vera, 2013)

Sistemas SCADA

Los sistemas SCADA son un claro ejemplo de practicidad industrial ya que permiten la integración de uno o varios equipos con los medios digitales cuyas interfaces son más amigables.

La finalidad de los sistemas SCADA es controlar de forma remota un sistema, adquiriendo datos de sensores, y PLC's; y demás, equipos por medio de protocolos de comunicación. La información correspondiente a lecturas se lo hace en tiempo real y con la posibilidad de crear un historial.

Los usuarios de cualquier software SCADA podrán instalarlos en sus equipos para que, a manera de servidores, éstos puedan servir de vínculo entre el proceso y una oficina de supervisión que no tenga que estar en contacto con los ambientes procedentes de la industria, los cuales estarían llenos de factores perjudiciales a la salud como son vibraciones, ruido, riesgo de atascamientos, riesgo de electrocución, riesgos químicos, entre otros.

Servidor OPC

Los servidores OPC (Open Protocolo Communication) son programas que, a manera de driver, se encargan de la comunicación de un cliente OPC, los cuales pueden ser SCADA, HMI, generadores de informes, aplicaciones de cálculos, etc. Con una o más fuentes de datos empleando sus protocolos nativos, estos equipos pueden ser PLC, módulos de control, sistemas embebidos de básculas, etc.

Los OPC serán entonces los traductores de los equipos en campo a los equipos en el lugar de supervisión, gracias a su versatilidad y su código abierto.

Bus de transmisión EIA-485

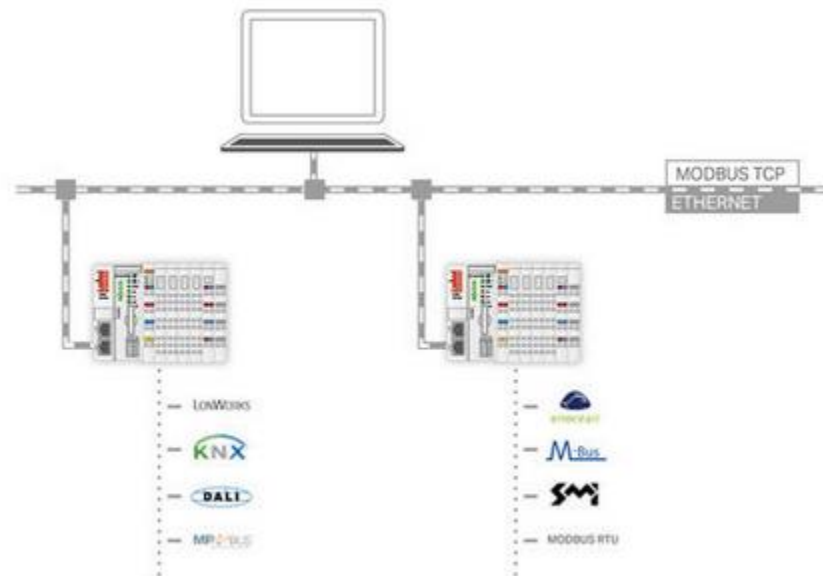
Los buses de transmisión fueron creados con la finalidad de tener una transmisión de tipo multipunto diferencial. Permitiendo conectar varios equipos en la misma red, siendo el caso de RS-485 de hasta 31 dispositivos, al igual que cubre una mayor distancia de transmisión y permite configuraciones diferentes de red, lo cual le da la versatilidad necesaria para estar muy presente en la industria. En resumen, un bus de campo es un sistema de comunicaciones entre los sistemas de automatización y los dispositivos montados en campo, estos buses se crearon con base en el modelo OSI.

Modbus

El protocolo Modbus es una herramienta poderosa que está orientada a los controladores lógicos programables de manera rápida y segura ya que la estructura de datos trasciende al fabricante y el medio Ethernet se acoplan muy bien, así lo detalla la página de la corporación WAGO (2020). En la figura 6 se visualiza su estructura.

Figura 6

Sistema Modbus TCP y Modbus RTU



Nota. La imagen detalla un pequeño sistema SCADA que conecta los dispositivos de campo mediante Modbus RTU a un PLC, el mismo que se conecta con un computador y con otros PLC por medio de Modbus TCP.

Modbus RTU. Este bus de campo es sumamente popular, su diseño comenzó con la intención de comunicar y direccionar distintos PLC, actualmente este bus puede implementarse sobre cualquier línea de comunicación en serie, ya que permite que la comunicación por medio de tramas ASCII con una confirmación de interrogación-respuesta. El aspecto físico de este bus se conforma por fibra óptica o par trenzado de cable.

Modbus TCP. Esta variante de Modbus es precisamente la que se encarga de la conexión cliente servidor mientras los nodos se encuentren en el mismo intervalo de direcciones IP. (WAGO, 2020)

Snap 7

Como se puede resumir de la página de Sourceforge Snap7 (2016) esta herramienta trata de un software que se implementa en el CPU del equipo SCADA que, mediante Ethernet, se comunica con un PLC Siemens S7, un Logo o un variador de frecuencia de la familia Sinamics, con una configuración mucho más simplificada.

Este software es de código libre y es compatible con lenguajes como C/C++, LabVIEW, Python, Node.js, entre otros lenguajes de utilidad en el ejercicio de transición desde la comunicación industrial a la gestión y procesamiento de datos.

Node Red

Según información obtenida de de OpenJS Foundation & Contributors (2016), esta herramienta trata de un software cuyo lenguaje está basado en flujo y conexión de bloques, fue desarrollado por un cuerpo técnico de IBM; este programa permite la migración de datos desde tópicos MQTT a un computador en específico e incluso publicarlos en la nube.

Ubidots

La página de Ubidots Foundation (2022), brinda información referente a su plataforma de Internet de las cosas (IoT) de uso libre, con ciertas características de paga, que permite la publicación libre y segura de los datos recabados por el sistema SCADA en un sistema mecatrónico o electrónico conectado en red. Esta plataforma presenta herramientas de desarrollo de arrastre y configuración que la hacen sumamente intuitiva.

Capítulo III

Diseño y Selección de Componentes del Sistema Mecatrónico

Introducción

En el presente capítulo se pretende detallar de manera sistemática los elementos que serán usados en el desarrollo del proyecto, partiendo de la selección de componentes mecánicos, siguiendo con la selección de componentes electrónicos y finalizando con la selección de componentes de control que serán críticos en la implementación del IOT, todo esto teniendo en cuenta las diferentes condiciones de diseño.

Consideraciones de diseño

Diseño para la industria (DPI)

En la elaboración del proyecto se pretende mejorar la seguridad de los trabajadores que se encuentran en planta, específicamente en el área de moldeo y enrazado del material.

Disminuir los tiempos de producción y conseguir la estandarización del proceso en la elaboración del producto, además permite que la empresa reduzca sus costos y aproveche de forma eficiente los recursos. (Capital y recursos humanos).

El presente sistema está diseñado en función de las necesidades ergonómicas de los operarios, rigiéndose a las limitaciones dimensionales de la planta de producción.

Acogiéndose al proceso de diseño industrial, se parte de la figura 7, referente a las métricas, levantadas en base a las necesidades del cliente, que para fines prácticos son las necesidades de la empresa.

Figura 7

Necesidades reflejadas en métricas

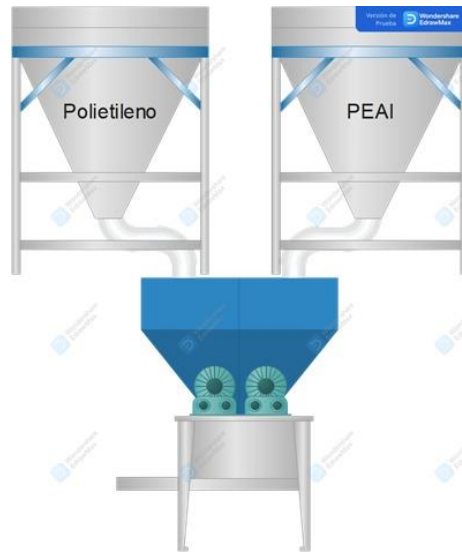
NECESIDAD		METRICAS																	
		Tolva con capacidad para 80 Kg	Dosificación de 50 tableros por hora	Diseño en base a la normativa ISO *especificar Simulación de flujo por método de elementos discretos *parámetros	Partes (números) y repuestos estándar en el mercado	Presupuesto máximo de 20 000usd	Tiempo de importación de menos de un mes	Accesibilidad a los componentes (tiempo de cambio)(tiempo de mantenimiento preventivo)(numero de módulos del proceso)	Normativa de seguridad industrial (Registro de enfermedades laborales)	Espesor de 30 mm en la plancha dosificadora	Carga de dos tipos de material y diferente volúmen	Duración de pruebas de humedad en materiales estructurales	Costo unitario de manufactura	Control de flujo másico de salida	Grado de protección IP alto	Seguridades y protecciones adecuadas bajo normativa Servomotores de engrasado (nivelado en molde)(control de espesor)	Validación del diseño por software (FS, Diagrama esf def)	PLC con funciones de red (número de puertos)(velocidad)	PLC de gama media - alta (velocidad de procesamiento)(# I/O)(Funciones de red)
1	El operario no debe cargar peso	■	■								■					■	■		
2	Se desea ahorrar tiempo de producción		■															■	
3	Se desea robustez			■								■			■				■
4	Se precisa un diseño validado				■														
5	Debe ser de fácil mantenimiento					■		■											
6	Debe ser de bajo costo						■												
7	Los componentes deben provenir de China preferentemente							■										■	
8	La limpieza debe ser sencilla								■										
9	Debe tener seguridad industrial									■									
10	Debe garantizar un dosificado uniforme									■									
11	Se precisa una gran capacidad de almacenamiento de material										■								
12	Se requiere de materiales inoxidables											■							
13	Se precisa una dosificación de dos tipos de material		■										■						
14	Se requiere una dosificación en 3 niveles consecutivos		■											■					
15	Se desea un bajo ruido de operación		■											■	■	■			
16	Se requiere electrónica robusta														■	■	■		■
17	Enrasado óptimo																■		
18	Simulación del diseño			■							■							■	
19	Comunicación en red																	■	■
20	Registro de producción																		■

Nota. Requerimientos principales de la empresa, con las cuales se plantea métricas medibles para la elaboración del sistema.

La siguiente etapa del proceso de diseño para la industria lleva al bosquejo y conceptualización del sistema, como se evidencia en la figura 8.

Figura 8

Bosquejo del sistema de dosificado



El siguiente paso para el proceso de diseño es realizar los modelos de control, el esquema P&ID del proceso que se visualiza en la figura 9 y agrupar los sistemas y subsistemas del proceso como se muestra en la figura 10; cuya descripción se encuentra en la tabla 3.

Figura 9

Esquema P&ID del proceso

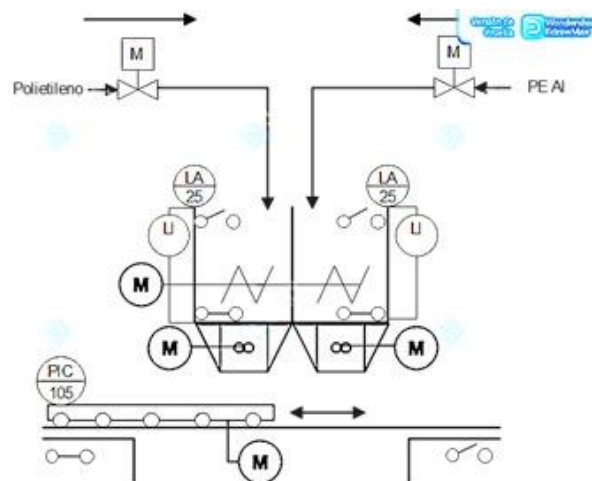


Figura 10

Sistemas y subsistemas

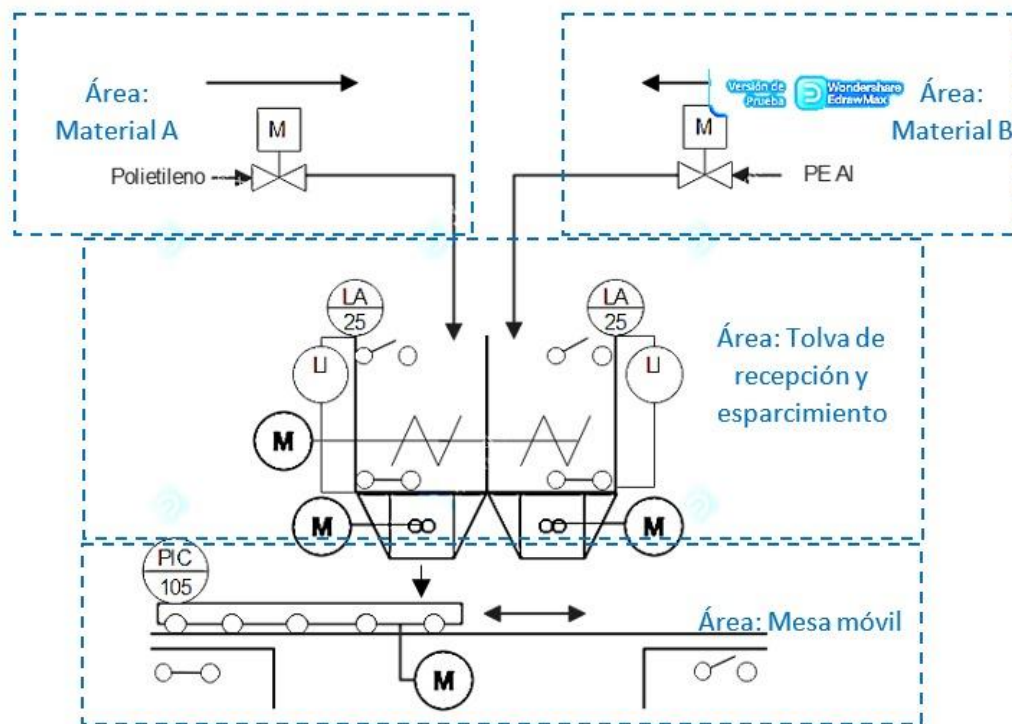


Tabla 3

Áreas funcionales y aspectos correspondientes

Área funcional	Descripción de equipos
Material A	Compuerta de alimentación
Material B	Compuerta de alimentación
Tolva de recepción y dosificación	Motores de mezcladora Motores de rodillos alimentadores Sensores de nivel de llenado
Mesa móvil	Motor reversible de traslación de la mesa Sensor de peso para la dosificación

Diseño para el ambiente (DPA)

En el presente proyecto se encuentran interesadas las empresas Tetra Pak y Ecuaplastic, quienes desean mejorar el proceso de reciclaje presentado en la figura 11

Figura 11

Reciclaje del Tetra Brik



Nota. Representa los métodos de reciclado del tetra brik. Tomado de (Reciclo, s.f.)

Dos o más ciclos de vida:

Para disminuir el impacto ambiental ocasionado por la degradación o desgaste de ciertas partes del sistema se ha optado por incluir los tableros Ecopak debido a su capacidad de reprocesamiento en la misma fábrica, garantizando así la extensión de los ciclos de vida de algunos componentes como son: Carcasas, tableros de control, armarios de control, ductos de material, etc.

Efectos Ambientales

En el proceso de diseño se han considerado que los desechos sólidos generados por el sistema pueden ser reutilizados, además se tiene en cuenta que el proceso no genera contaminación del agua ni del aire.

La energía empleada es eléctrica y los recursos considerados como materia prima del proceso provienen de los empaques desechados del Tetra Brik

Diseño para la manufactura (DPM)

Estimación de costos de manufactura:

La adquisición de los componentes electrónicos de control e instrumentación, componentes de electrónica de potencia, así como la manufactura de ciertos componentes realizados bajo pedido, son los aspectos más importantes dentro de la estimación de los costos y manufactura.

Reducción de costos de los componentes:

Se toma en cuenta la recomendación del ingeniero y gerente general de la empresa para la adquisición de componentes del sistema de control, éstos deben ser de origen asiático debido a su bajo costo y calidad aceptable.

Disminución de costos de apoyo a la producción:

Tomando en cuenta el tamaño de la empresa y su capital, se ha optado por el concepto de diseño, que minimice la complejidad sistemática, sin sacrificar su rendimiento, manteniendo un bajo costo.

Impacto de decisiones del DPM en otros factores:

El impacto del DPM en el tiempo de desarrollo es considerable debido a la magnitud de la inversión que representa para la empresa, en el cual los diseñadores se enfocan en aumentar los tiempos de simulación, para garantizar un funcionamiento óptimo desde la ejecución del sistema físico.

En cuanto al costo de desarrollo, las decisiones en torno al DPM representan un ahorro a largo plazo para la empresa debido a que se encuentra apta para automatizar la línea de producción.

De las necesidades recopiladas, el peso del material necesario en cada tolva es de 200 Kg, por lo que se procede a plantear el volumen necesario con el que va a trabajar cada tolva de alimentación, en función de la masa y la densidad del material:

$$m = 200 \text{ Kg}$$

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (1)$$

$$V = \frac{200 \text{ Kg}}{91.79 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V = 2.17 \text{ m}^3$$

El volumen encontrado supone llenar en su totalidad la tolva alimentadora, pero por cuestión de proyección a futuro se le acerca a un valor mayor de capacidad de almacenaje, el cual quedaría con un volumen final de:

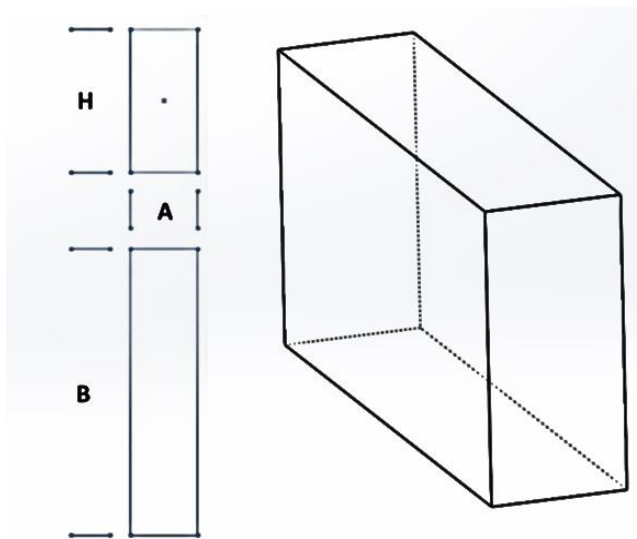
$$V = 2.5 \text{ m}^3$$

Diseño de la tolva alimentadora

Las características y propiedades del material influyen en las presiones y cargas que ejercen sobre su contenedor. Los parámetros a tomar en cuenta son: densidad del material, ángulo al cual reposa el material y el coeficiente de fricción con la pared.

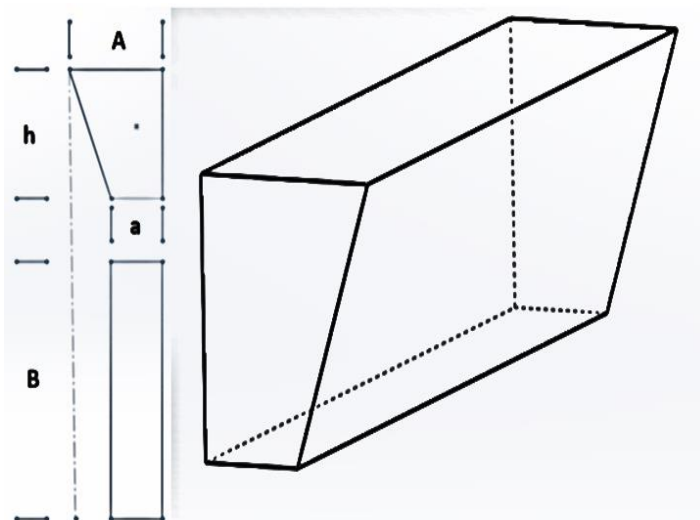
La geometría de la tolva está compuesta por un prisma rectangular y un prisma trapezoidal, como se muestra en las figuras 12 y 13.

$$V = A \times B \times H \quad (2)$$

Figura 12*Prisma rectangular*

La ecuación 2 indica el volumen del prisma rectangular y la ecuación 3 refiere al volumen del prisma trapezoidal.

$$V = a \times h \times B + \left(\frac{A - a}{2}\right) \times B \times h \quad (3)$$

Figura 13*Prisma trapezoidal*

Ángulo de reposo

Al llenar una tolva, el ángulo de reposo del material es determinado por varios factores como son: La orientación de partículas, el tamaño, el porcentaje de humedad, la forma y volumen, además de la altura a la cual es llenado, por lo que varía el ángulo del grano en reposo. (Grijalva, 2013)

Figura 14

Ángulo de reposo



Nota: Representación del ángulo de reposo. Tomado de (Grijalva, 2013)

En la figura 14 se ilustra el ángulo de reposo, cada material tiene el suyo, para el caso del Polialuminio triturado está en un valor de 25° , esto se determina de forma experimental después de hacer 12 pruebas y obteniendo el promedio, dejando caer el material de forma constante en el mismo punto.

Depende del tipo de material, pero el ángulo de reposo debe ser:

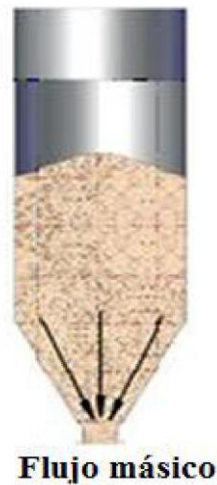
- Para polvos cohesivos, mayor a 60° grados, mientras que para polvos no cohesivos es conveniente que el ángulo sea menor a 25° grados.
- Para el caso del polialuminio se decide hacer uso de un ángulo de reposo $\alpha > 60^\circ$ con el fin de disminuir el problema del poco flujo uniforme. (Grijalva, 2013)

Tipo de flujo

Con un ángulo de reposo mayor a 60 grados se genera un tipo de flujo de tipo másico, por lo que la mayor parte del material interior de la tolva estará en movimiento. (McElhiney, 1994). Esto se puede evidenciar en la figura 15.

Figura 15

Flujo másico

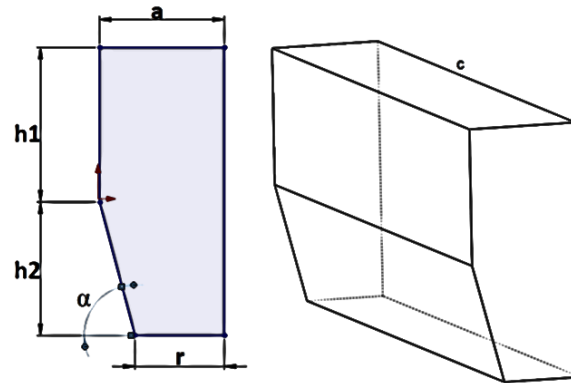


Nota. Tomado de (Solid Solution Group, 2013)

Dimensionamiento

Se determina los parámetros geométricos que cumplen con el volumen previamente determinado; tomado como referencia la figura 16.

$$V = (h_1 \times a \times c) + (a \times c \times h_2) - \left(\frac{(a - r) \times h_2 \times c}{2} \right) \quad (4)$$

Figura 16*Parámetros de la tolva*

Se considera los parámetros del volumen que ocupará el material, la altura, el ancho, profundidad y la medida de sección de descarga, lo que se pretende es determinar el ángulo de descarga, el cual cumpla con el ángulo de reposo para materiales cohesivos. Los parámetros son:

$$V = 2.5 \text{ m}^3$$

$$a = 1 \text{ m}$$

$$c = 1.6 \text{ m}$$

$$h_1 = 1.02 \text{ m}$$

$$h_2 = 0.83 \text{ m}$$

Reemplazando en la ecuación 4 previamente planteada y despejando, se obtiene el valor de r correspondiente, que satisface el volumen necesario:

$$2.5 = (1.02 \times 1 \times 1.6) + (1 \times 1.6 \times 0.83) - \left(\frac{(1 - r) \times 0.5 \times 1.6}{2} \right)$$

$$r = 0.3 \text{ m}$$

En la ecuación 5 se reemplaza los datos conocidos para obtener el ángulo alfa correspondiente al diseño de la tolva.

$$\tan \alpha = \frac{h_2}{a - r} \quad (5)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{0.83}{1 - 0.3} \right)$$

$$\alpha = 49.85^\circ$$

Para fines prácticos ya sea de construcción y disponibilidad de los materiales, en base al valor de inclinación “ α ” y un valor de “ r ” adecuado, se determinan las medidas finales.

$$\alpha = 50^\circ$$

$$r = 0.30 \text{ m}$$

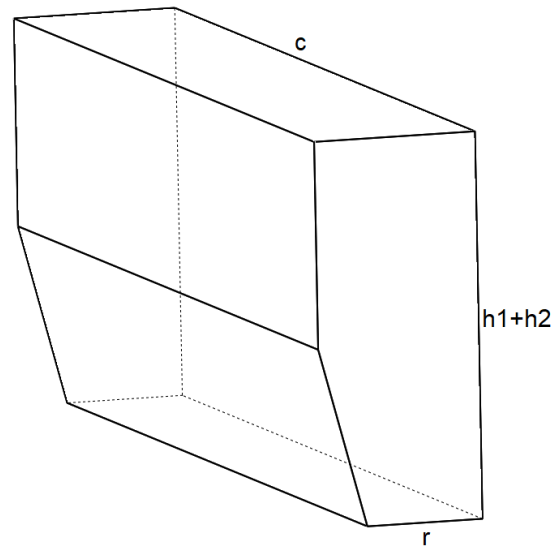
Cálculo del espesor de la lámina

La sociedad Americana de Ingeniería Mecánica (ASME), sección VIII, división 1, brinda información para el diseño del área rectangular que será sometida a presión interna, por lo que se aplicará la teoría de placas planas que permiten calcular el espesor de las placas. (Seely, 1997)

La tolva en sus paredes resistirá una presión promedio, por lo que será relevante determinar la misma, como se describió previamente.

Dimensionamiento

Al aumentar un tramo corto de tolva para colocar los rodillos móviles, sus dimensiones son: de largo $c=1.62$ m, de alto $h_t = 2.04$ m y $a = 1$ m de ancho así se muestra en la figura 17, con una densidad promedio de polialuminio $91.79 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$; como se observa la tabla 1.

Figura 17*Dimensionamiento de tolva*

En el área que cuenta con la mayor longitud, es donde será crítica la presión, por lo que se calcula la presión media en dicho punto, asumiendo que la presión está distribuida de manera uniforme en toda la placa. De tal forma que la presión media actuará en la mitad de la longitud de la placa, adicionalmente se utiliza la simbología w para referirse a la presión media como la carga distribuida de manera uniforme en la aplicación de teoría de placas planas, así lo indica la ecuación 6.

$$w = Pr_{media} = \rho g H \quad (6)$$

Donde:

ρ : Densidad del Polialuminio con $91.79 \left(\frac{Kg}{m^3}\right)$

H : Altura media de 1.02 metros

w : Carga distribuida de manera uniforme

g : Gravedad de $9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right)$.

Pr_{media} : Presión media en $\left(\frac{N}{m^2}\right)$.

$$\left(H = \frac{ht}{2} = \frac{2.04}{2} m \right)$$

Con dichos valores e ingresando en la ecuación 6 se obtiene:

$$w = Pr_{media} \left[\frac{N}{m^2} \right] = 91.79 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) 9.81 \left(\frac{m}{s^2} \right) \times 1.02m$$

$$w = 918.47 Pa$$

Ya obtenida la presión media en el área de la pared de la tolva, se procede a calcular el espesor de la placa; por lo que se aplicará la teoría de placas con bordes simplemente apoyados de (Seely, 1997)

Placas con bordes simplemente apoyados.

El esfuerzo máximo se encuentra en las diagonales de sus ejes y ésta corresponde al área crítica que es determinada por la ecuación 7.

$$s = \frac{1}{2} \times \frac{h_t^2}{h_t^2 + c^2} \times \frac{wc^2}{t^2} \quad (7)$$

Donde:

w : Carga distribuida en $[Pa]$

s : Esfuerzo ejercido en la placa en $[Pa]$

c : Longitud menor en la placa en $[m]$

h_t : Longitud mayor en la placa en $[m]$

t : Espesor en $[m]$

El esfuerzo calculado deberá ser menor al esfuerzo admisible sugerido, para evitar deformaciones en el material al realizar el trabajo, en el caso de ser mayor se debe aumentar el espesor del material para la tolva.

$$s \leq \sigma_{admisible} \quad (8)$$

En base a la norma ASME, el límite de tensión en una sección es el siguiente:

$$\sigma_{admisible} = 0.6 S_y \quad (9)$$

Será utilizadas planchas de tol, por lo que el esfuerzo a la fluencia de dicho material es el siguiente según datos de tablas visualizadas en (acesco, pág. 1).

$$S_y = 255 \text{ MPa}$$

Reemplazando en la ecuación 9 la magnitud de S_y , se calcula el esfuerzo admisible.

$$\sigma_{admisible} = 0.6 (255) \text{ MPa}$$

$$\sigma_{admisible} = 153 \text{ MPa}$$

Seleccionando el valor de $t=0.002$ y reemplazando en la ecuación 7 se tiene:

$$s = \frac{1}{2} \times \frac{2.04^2}{2.04^2 + 1.62^2} \times \frac{918.47 * 1.62^2}{0.002^2}$$

$$s = 181.93 \text{ MPa}$$

La condición se cumple al obtener un valor de $s = 181.93 \text{ MPa}$, lo cual brinda la garantía de ser un espesor adecuado para el material seleccionado.

En el anexo 6 se muestra el plano de tolva generado a partir de los resultados.

Cálculo de Potencia del motor

Para mezclar y esparcir 200Kg de material de polialuminio a lo largo de la tolva se utiliza una mezcladora de doble hélice la cual está compuesta por 18 varillas que sostienen a las hélices, por lo que se calcula el torque necesario para mover dicho material.

Cálculo de torque de las varillas:

Cada varilla soporta una fracción de la capacidad máxima de almacenamiento, y al tener dos longitudes diferentes, se calcula aplicando la ecuación 10:

Considerando que el material de polialuminio triturado puede presentar más humedad de lo habitual, se aplica un factor de seguridad de 1.5 a la carga total del material. Por lo que resultaría 300 Kg.

$$F = \frac{P \times g}{N. \text{ de varillas}} \quad (10)$$

$$F = \frac{300Kg \times 9.81 m/s^2}{18} = 163.5 N$$

Para las 9 varillas de 0.25m

$$T_1 = 163.5 N \times 0.25m = 40.875 Nm$$

$$T_1 = 40.875 \times 9 \text{ varillas} = 367.875 Nm$$

Para las 9 varillas de 0.325m

$$T_2 = 163.5 N \times 0.325m = 53.137 Nm$$

$$T_2 = 53.137 Nm \times 9 \text{ varillas} = 478.23 Nm$$

$$T_t = T_1 + T_2$$

$$T_t = 846.105 Nm$$

Ya obtenido el torque total que va a ser ejercido en el eje, se procede a calcular la potencia que se requiere para mover dicho peso.

De la ecuación 11 tomada de (Budynas, 2008, pág. 96) se despeja la potencia:

$$T = K * \frac{P_r}{N} \quad (11)$$

$$P_r = T * \frac{N}{9.55}$$

Donde:

P_r : Potencia (Kw)

T: torque

N: velocidad en RPM

K: Constante de conversión

Reemplazando valores se obtiene:

$$P_r = \frac{846.105 \text{ Nm} \times 40 \text{ RPM}}{9.55}$$

$$P_r = 3543.89 \text{ W}$$

Transformando la Potencia en HP

$$P_r = \frac{3543.89 \text{ W}}{745.70 \text{ W}} = 4.75 \text{ HP}$$

Por lo que se selecciona un motor 5HP por ser más comercial y sencillo de adquirir.

Cálculo de la caja reductora

Para calcular la reducción necesaria se divide las RPM del motor a las RPM que se necesitan, dando como resultado la siguiente reducción:

$$\text{reducción} = 1750/40 = 43.75:1$$

La reducción que se necesita es de 43.75:1, por lo que se selecciona una reductora comercial de 43:1

Cálculo del diámetro del eje

Partiendo de información tomada de (Luque, 2019), se considera un factor de seguridad igual a 2 tomado de, además, el esfuerzo cortante máximo para un acero de transmisión SAE 1018:

$$\tau = 440 \text{ MPa}$$

H:3543.89 Watts

n:40 RPM

Se reemplaza los valores en la ecuación 11.

$$T = 9.55 \frac{H}{n} = 9.55 \times \frac{3543.89}{40} = 846.10 \text{ N} \times m$$

$$T_2 = FS \times T \quad (12)$$

Se encuentra el torque final aplicando la ecuación 12.

$$T_2 = 2 \times 846.10 \text{ N} \times m = 1692.20 \text{ N} \times m$$

$$\tau_{Max} = \frac{T_2 \times r}{J} \quad (13)$$

$$\tau_{Max} = \frac{1692.20 \times d}{2 \times \left(\frac{\pi \times d^4}{32}\right)} = 440 \text{ MPa}$$

T : Torque

T_2 : Torque multiplicado por el factor de seguridad.

J : Momento polar

τ_{Max} : Esfuerzo cortante máximo por torsión.

r : radio

FS : Factor de seguridad.

Despejando el diámetro de la ecuación 13 se obtiene:

$d = 26$ mm (diámetro mínimo), por lo que se elegirá un eje de 2" de diámetro teniendo en cuenta que también soporta las varillas y las platinas del mixer, además que le brinda mayor robustez al diseño.

Cálculo de diámetro de las varillas

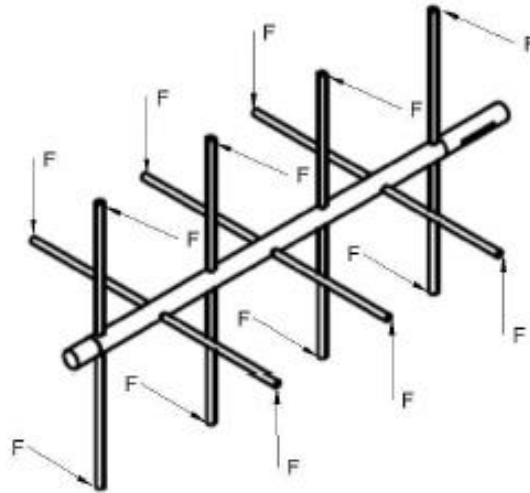
Hay 2 longitudes de varilla, 0.25 m y 0.325 m, pero se considera que las varillas de mayor longitud soportarán mayor torque (figura 18), por lo que tomando un factor de seguridad de 2 según (Luque, 2019) se obtiene:

$$T_2 = 846.10 \text{ N} \times m \times 2$$

$$T_2 = 1692.2 \text{ N} \times m$$

Figura 18

Fuerzas aplicadas en las varillas



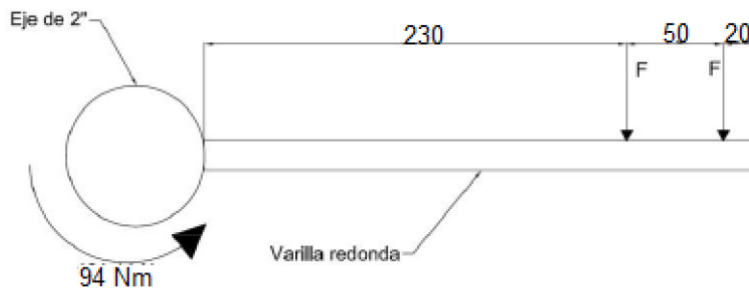
Nota: Representación de fuerzas aplicadas en las varillas. Tomado de (Luque, 2019)

El torque obtenido es repartido entre 18 (18 varillas)

$$M_2 = \frac{1692.2 \text{ N} \times \text{m}}{18} = 94 \text{ N} \times \text{m}$$

Figura 19

Diagrama de fuerzas aplicadas en la varilla



Como se visualiza en la figura 19, el momento es de 94 Nm.

Se analiza las varillas de sección circular sometida a esfuerzo de flexión por F y se reemplaza en la ecuación 14:

$$M = 94 N \times m$$

$$\sigma = \frac{M \times c}{I} \quad (14)$$

$$\sigma = \frac{94 \times r}{\frac{\pi}{4} \times r^4} = 250 MPa$$

$r=0.00782$ m, 7.82 mm de radio (diámetro mínimo de 15.7mm), por lo tanto, la varilla a elegir será mayor a 15.7 mm de diámetro. Por tal razón se utiliza varillas de 22 mm, ya que se cuenta con ese diámetro a disposición.

Cálculo del espesor de las hélices

De acuerdo con el torque calculado total calculado en la ecuación 12.

$$T_t = 1692.2 N \times m$$

En base al diseño se colocan hélices de 40 mm de ancho:

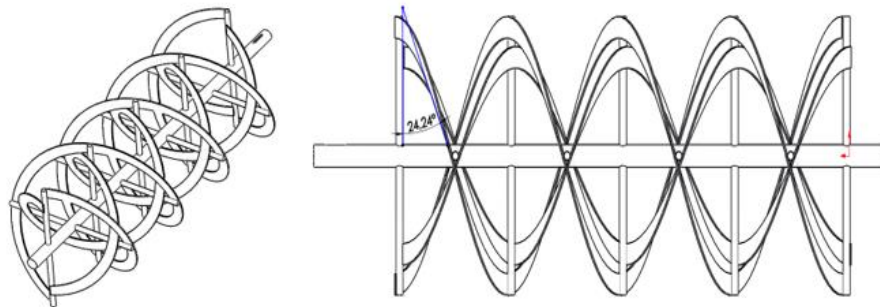
Dos tienen un largo 4330.5 mm y las otras dos hélices son de 3513 mm.

Se realiza un cálculo de flexión en un tramo específico de hélice que está entre dos varillas de 22 mm

La sección que se toma en consideración es de $4330.5 \text{ mm}/8=541\text{mm}$, es dividido entre 8 ya que representa el número de tramos en los que se descompone la longitud total, en donde cada sección representa una cuarta parte de la circunferencia; como se observa en la figura 20.

Figura 20

Homogeneizador

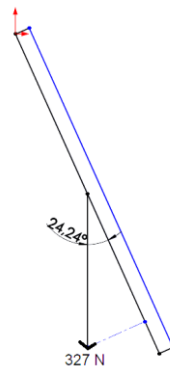


Nota. El plano de homogeneizador se presenta en el anexo 3

Se forma un ángulo de aproximadamente 24.24 grados, en las hélices. Adicionalmente la fuerza en los 2 extremos del cuarto de circunferencia es de 163.5 N, como se determinó en la ecuación 10; por lo que resulta una fuerza total de 327N, mostrada en la figura 21.

Figura 21

Descomposición de la fuerza



Esta al descomponerse en el ángulo 24.24 grados resulta la fuerza normal F_n :

$$\sin 24.24^\circ = \frac{F_n}{327N}$$

$$F_n = 134.25 N$$

Al distribuir la carga uniforme a lo largo de la sección, como se plantea en la ecuación

15.

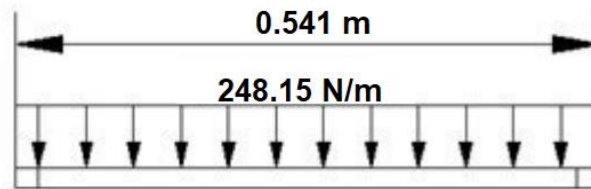
$$w = \frac{F_n}{l} \quad (15)$$

$$w = \frac{134.25 \text{ N}}{0.541 \text{ m}} = 248.15 \text{ N/m}$$

Se obtiene la carga distribuida w mostrada en la figura 22:

Figura 22

Carga distribuida en la platina



Aplicando la ecuación 16 tomada de (Luque, 2019), se encuentra M .

$$M = \frac{w \times x}{2} (l - x) \quad (16)$$

Donde:

M : momento máximo en la mitad de la sección en $\text{N} \times \text{m}$

l : Longitud total

x : $0.541\text{m} / 2$

w : 248.15 N/m

$$M = \frac{248.15 \times \left(\frac{0.541}{2}\right)}{2} \left(0.541 - \frac{0.541}{2}\right) = 9.07 \text{ N} \times \text{m}$$

$$\sigma = \frac{M \times c}{I} = \frac{9.07 \times \left(\frac{h}{2}\right)}{\left(\frac{1}{12} \times 0.040 \times h^3\right)} = 250 \text{ MPa}$$

$$h = 2.33 \text{ mm}$$

Por lo tanto, se selecciona una platina de 40mm de ancho y 6 mm de espesor, debido a disponibilidad en el mercado.

Cálculo de Potencia motor de rodillos

Para la elección de los rodillos de alimentación, se tomó en consideración el área de la tolva en la que se concentra el material para ser extruido. Por lo que el área según la figura 16 es:

$$\text{Área} = 1.60m * 0.3m = 0.48 m^2$$

También se relaciona con la densidad del material mencionado en la tabla1, la cual es:

$$\rho = 91.79 \text{ Kg/m}^2$$

Mientras que la altura de la tolva es:

$$h = 2 \text{ m}$$

la presión en el fondo de la tolva sería:

$$P = \rho * g * h$$

$$P = 1800.91N/m^2$$

De donde:

$$F = \text{Area} * P$$

$$F = 864.44 \text{ N}$$

El diámetro del cilindro giratorio es de 10 cm aproximadamente, por lo que su radio será de 5 cm

El torque ejercido en el eje será:

$$T = F * d$$

$$T = 864.44 \text{ N} * 0.05 \text{ m} = 43.22 \text{ Nm}$$

Con un factor de seguridad de 4 al ser carga repetida según el libro de (Vidosic), se despeja Pr a partir de la ecuación 11 descrita previamente:

$$T = 43.22 * 4 = 172.88 \text{ Nm}$$

$$P_r = T * \frac{N}{9.55}$$

$$P_r = 172.88 * \frac{40}{9.55}$$

$$P_r = 724.105 \text{ Watt}$$

$$P_r = 0.971 \text{ HP}$$

Por lo que se selecciona un motor de 2 HP comercial, que dispone la empresa, con ejes de 2" SAE 1018 para alimentar el material correspondiente. Ver anexo 12 para encontrar características

A continuación, en la tabla 4, se detallan los datos considerados para el diseño de la estructura metálica mostrada en la figura 23:

Tabla 4

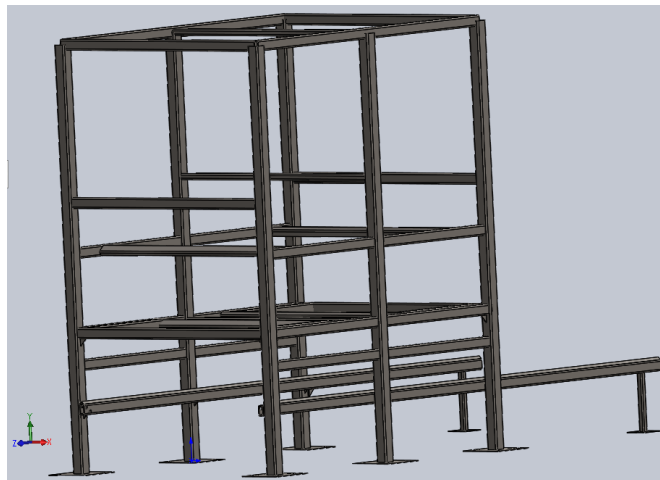
Parámetros para considerar en el diseño de la estructura

Magnitud	Valor
Carga por material en la tolva	200Kg = 1962N
Peso promedio de los motores	
5HP	43Kg = 333.54N
2HP	23Kg = 196.2N
Carga por peso de cada homogeneizador	80Kg = 784.8N
Carga por peso de cada rodillo	61Kg = 598.41N
Carga por peso de chumaceras	1.5Kg = 14.72N
Carga por peso de la mesa móvil	91Kg = 892.71N
Carga instantánea por arranque del motor	F15 = -1626N
5HP	F25 = 2046N
2HP	F12 = -590.9N
	F22 = 816.53N

Magnitud	Valor
Longitud de columnas	3m
Longitud de vigas	
Cortas	1m
Largas	1.6m

Figura 23

Diseño geométrico considerado para la selección del perfil



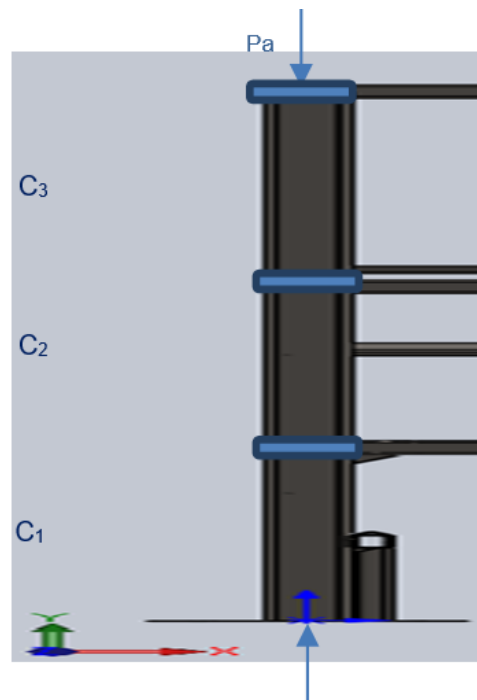
Nota. El plano de la estructura se presenta en el anexo 2, 4 y 5.

Diseño de columnas

Se desea saber si el perfil considerado para el diseño geométrico debe ser modificado; el perfil seleccionado es un tubo cuadrado HSS 100x100x3; presenta las propiedades geométricas del anexo 13, indicadas en las figuras 24 y 25.

Figura 24*Propiedades del tubo cuadrado*

Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94

*Nota. Tomado de (DIPAC, 2020)***Figura 25***Fuerzas que actúan en la columna*

$$E = 200 \text{ [GPa]}; S_y = 248 \text{ [MPa]}$$

Como se puede evidenciar en la figura anterior, debido a la soldadura solidaria a otros miembros de la estructura, se procede a analizar cada nuevo miembro por separado, resultando en el siguiente análisis:

Columna C1, C2 y C3:

Longitud: $L = 90\text{cm}$

Longitud efectiva: $Le = K \cdot L = (2) (0.9\text{m}) = 1.8\text{m} = 180\text{cm}$

Radio de giro mínimo: $r_{\min} = \sqrt{\frac{I}{A}} = 3.938 \text{ cm}$

Relación de esbeltez: $SR = \frac{Le}{r_{\min}} = 45.708$

Constante de columna: $Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} = 126.169$

$Cc = 126.169 > SR = 45.708 \therefore$ Columna corta

Se empleará la fórmula de J. B. Johnson para éste y los siguientes casos debido a que la longitud no varía lo suficiente como para causar que SR supere a Cc.

Inercia: $I = 176.95 \text{ cm}^4 \left| \frac{1 \text{ m}^4}{100^4 \text{ cm}^4} \right| = 1.7695 \times 10^{-6} \text{ m}^4$

Área: $A = 11.41 \text{ cm}^2 \left| \frac{1 \text{ m}^2}{100^2 \text{ cm}^2} \right| = 1.141 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

Carga crítica: $P_{cr} = A \cdot S_y \left[1 - \frac{S_y (SR)^2}{4\pi^2 E} \right] = 264399.2054 \text{ N}$

Columna total sin apoyos laterales:

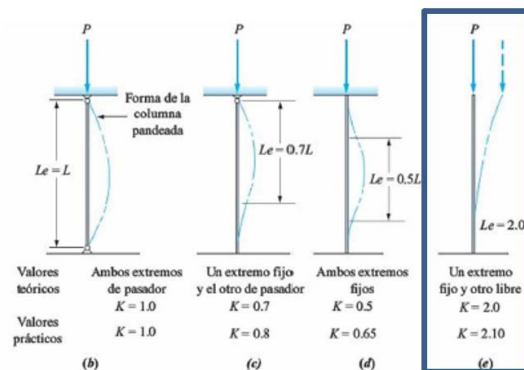
Longitud: $L = 300\text{cm}$

Longitud efectiva: $Le = K \cdot L = (2.1) (3\text{m}) = 6.3\text{m} = 630\text{cm}$

Se considera el valor de K en base a la fijación de un extremo fijo y otro libre como se observa en la figura 26.

Figura 26

Tipos de fijación de columnas



$$\text{Radio de giro m\u00ednimo: } r_{\min} = \sqrt{\frac{I}{A}} = \mathbf{3.938 \text{ cm}}$$

$$\text{Relaci\u00f3n de esbeltez: } \mathbf{SR} = \frac{L_e}{r_{\min}} = \mathbf{159.979}$$

$$\text{Constante de columna: } \mathbf{C_c} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} = \mathbf{126.169}$$

$$C_c = 126.169 < SR = 159.979 \therefore \mathbf{\text{Columna larga}}$$

Se emplear\u00e1 la f\u00f3rmula de J. B. Johnson para este y los siguientes casos debido a que la longitud no var\u00eda lo suficiente como para causar que SR supere a Cc.

$$\text{Inercia: } I = 176.95 \text{ cm}^4 \left| \frac{1 \text{ m}^4}{100^4 \text{ cm}^4} \right| = \mathbf{1.7695 \times 10^{-6} \text{ m}^4}$$

$$\text{\u00c1rea: } A = 11.41 \text{ cm}^2 \left| \frac{1 \text{ m}^2}{100^2 \text{ cm}^2} \right| = \mathbf{1.141 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$\text{Carga cr\u00edtica: } P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * A}{(SR)^2} = 88001.37 \text{ N} \left| \frac{1 \text{ Kg}}{9.81 \text{ N}} \right| = \mathbf{8970.58 \text{ Kg}}$$

Factor de seguridad: **N=8**, ver figura 27.

Figura 27

Criterios para esfuerzos de dise\u00f1o

TABLA 3-2 Criterios para esfuerzo de dise\u00f1o—Esfuerzos normales directos.		
Forma de la carga	Material d\u00facil	Material fr\u00e1gil
Est\u00e1tica	$\sigma_d = s_y/2$	$\sigma_d = s_y/6$
Repetida	$\sigma_d = s_y/8$	$\sigma_d = s_y/10$
Impacto o choque	$\sigma_d = s_y/12$	$\sigma_d = s_y/15$

Nota: Criterios para esfuerzos de dise\u00f1o. Tomado de (Mott, 2009)

La tolva va a ser cargada y descargada constantemente; por lo cual se considera que la carga es de naturaleza repetida.

$$\text{Seg\u00fan (Mott, 2009), la Carga admisible: } P_a = \frac{P_{cr}}{N} = 11000.17 \text{ N} \left| \frac{1 \text{ Kg}}{9.81 \text{ N}} \right| = \mathbf{1121.32 \text{ Kg}}$$

Carga de la columna:

$$P = \frac{1962 \text{ N}}{3} + \frac{333.54 \text{ N}}{2} + \frac{196.2 \text{ N}}{2} + \frac{784.8 \text{ N}}{3} + \frac{598.41 \text{ N}}{2} + \frac{3 * 14.72 \text{ N}}{2} + 2046 \text{ N} + 816.53 \text{ N} = \mathbf{4364.29 \text{ N}}$$

4364.29N < 11000.17N ∴ **Columna segura**

Diseño de vigas

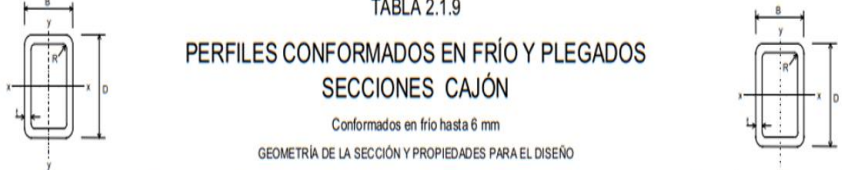
Acorde al diseño geométrico se requiere que la longitud de las vigas orientadas en el eje X sean de 1600mm y las orientadas en el eje Z de 950mm, para lo cual el perfil seleccionado según la disponibilidad de los proveedores de aceros en la Provincia de Pichincha y sus alrededores fue el tubo rectangular:

HSS 70x40x3 con las propiedades indicadas en la figura 28.

Figura 28

Geometría de la sección y propiedades para el diseño

TABLA 2.1.9
PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO Y PLEGADOS
SECCIONES CAJÓN
Conformados en frío hasta 6 mm
GEOMETRÍA DE LA SECCIÓN Y PROPIEDADES PARA EL DISEÑO

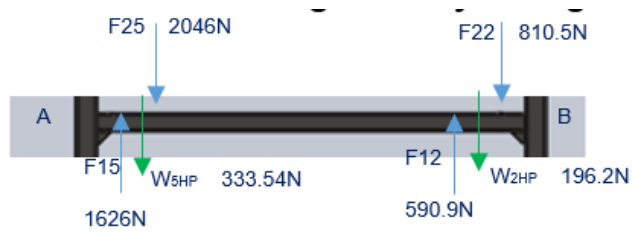


DESIGNACIÓN □ D x B x t	PESO kg/m	ÁREA			EJE X - X			EJE Y - Y			ESBELTEZ ALA ALMA		J10 ⁴	PANDEO LOCAL ¹				S _{xx} /S _x S _{yy} /S _y	
		t	R	A	I _x /10 ⁸	Z _x /10 ³	S _x /10 ³	r _x	I _y /10 ⁸	Z _y /10 ³	S _y /10 ³	r _y		b/t	h/t	Q _x	Q _y	r _x , MPa	r _y , MPa
□ 70 x 30 x 3	5.3	4.0	6.00	681	0.355	13.7	10.2	22.8	0.0911	7.45	6.07	11.6	2.5	12.5	25.6	-	-	-	-
	4.2	3.0	4.50	533	0.296	11.1	8.46	23.6	0.0772	6.08	5.15	12.0	5.0	18.3	20.9	-	-	-	-
	2.9	2.0	3.00	370	0.218	7.96	6.23	24.3	0.0579	4.39	3.86	12.5	10.0	30.0	15.1	-	-	-	-

Debido al diseño geométrico, se consideró emplear el mismo tubo para todas las vigas con el fin de disminuir el desperdicio de material; como se indica en la figura 29.

Figura 29

Viga de mayor carga



Los tipos de apoyo de la viga son empotramientos ya que se trata de soldadura total del tubo.

Identificadas las cargas se procede a calcular la viga; (de acuerdo con la figura 29).

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} + F_{15} + F_{12} - F_{25} - F_{22} - W_{5HP} - W_{2HP} = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} = 1169.34N$$

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{Ax} = R_{By}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$M_A + (0.01m)F_{15} + (1.46m)F_{12} - (0.17m)F_{25} - (1.6m)F_{22} - (0.08m)W_{5HP} - (1.53m)W_{2HP} \\ + (1.6m)R_B = 0$$

$$M_A = 347.82Nm + 1296.8Nm + 26.68Nm + 300.18Nm - 16.26Nm - 862.7Nm - (1.6m)R_B$$

$$M_A = 1092.52Nm - (1.6m)R_B$$

$$\sum M_B = 0$$

$$M_B - (1.6m)R_A - (1.59m)F_{15} - (0.14m)F_{12} + (1.53m)F_{25} + (0.01m)F_{22} + (1.52m)W_{5HP} \\ + (0.07m)W_{2HP} = 0$$

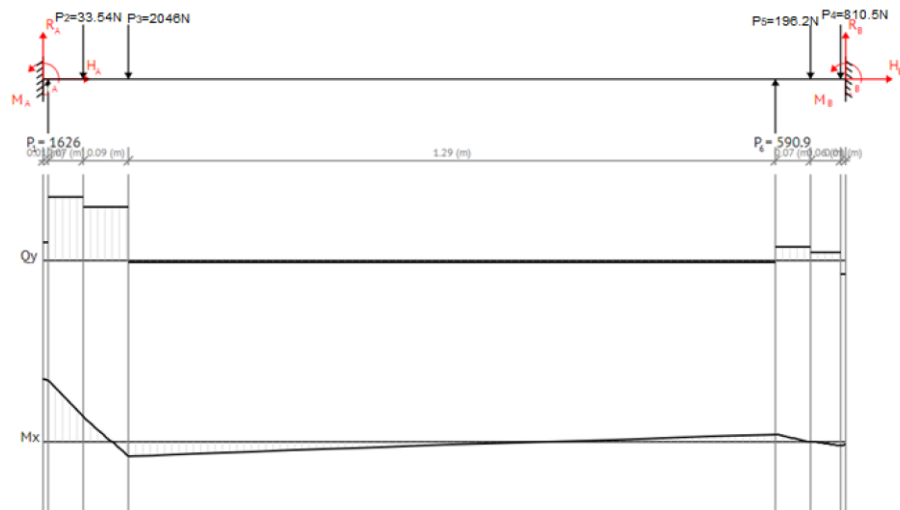
$$M_B = 2585.34Nm + 82.726Nm - 3130.38Nm - 8.105Nm - 506.98Nm - 13.734Nm + (1.6m)R_A$$

$$M_B = (-)991.133Nm + (1.6m)R_A$$

Las reacciones se encuentran ubicadas en la figura 30, que muestra el diagrama de fuerza cortante y momento flector.

Figura 30

Diagrama de fuerza cortante y momento flector

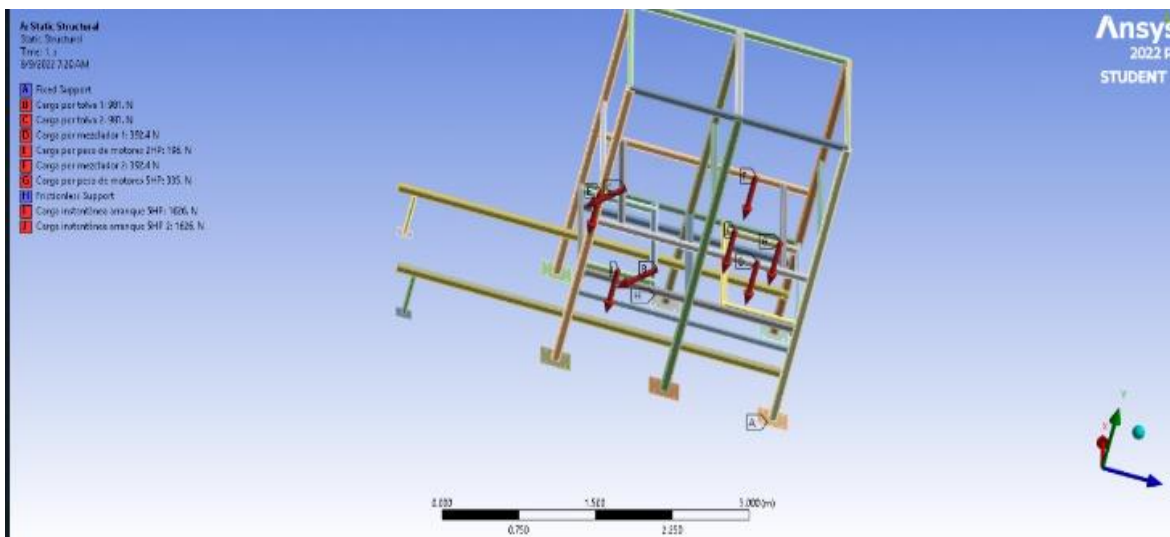


Validación CAE (Ingeniería asistida por computador)

En la figura 31 se puede observar las fuerzas a las que se encuentra sometida la estructura principal de la máquina, con lo que se logra validar su diseño, de manera que, con la carga efectuada de manera estática, no se produce el fallo de los elementos previamente calculados.

Figura 31

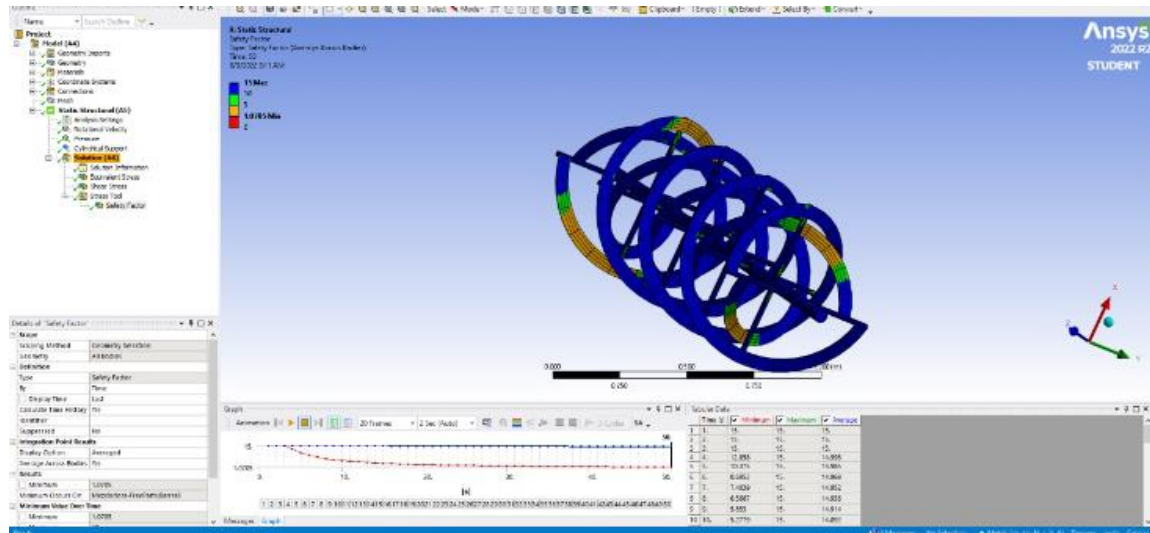
Análisis estático estructural-Estructura principal



De igual manera ocurre con el análisis estático estructural realizado al homogeneizador (figura 32); en los puntos críticos previamente mencionados y analizados, se valida que no ocurre el fallo de las platinas ni de las varillas que las unen.

Figura 32

Análisis estático estructural-Homogeneizador



Capítulo IV

Implementación del Sistema Mecatrónico

Generalidades

En el presente capítulo se muestra de manera ordenada la construcción de la estructura principal de la maquinaria, la elaboración y doblado de las tolvas de almacenamiento junto con su montaje, adicionalmente la construcción y montaje de los mezcladores también llamados homogeneizadores, la fabricación e implementación de los rodillos de alimentación y la construcción de una mesa móvil.

Para concluir, se muestra el montaje del sistema de transmisión, así mismo la integración del sistema eléctrico y la parte esencial del sistema de control como la configuración de éste, con el enlace al internet de las cosas. (El diagrama eléctrico se presenta en el Anexo 7).

Estructura principal

Para la construcción de la estructura principal se hizo uso de los perfiles rectangulares y cuadrados mencionados en los capítulos previos, se realiza puntos de suelda y con escuadra se procede a montar los mismos con la ayuda de andamios y el suelo nivelado previamente. Se marca con medidas tomadas del plano, los puntos exactos donde se alojarán los travesaños que brindan el soporte necesario para el montaje del resto de componentes que comprenden la maquinaria.

Una vez revisadas las medidas y verificando que se encuentra todo, perfectamente escuadrado, se procede a realizar los cordones de suelda que aseguran la estructura.

En la figura 33 se puede apreciar el proceso de montaje de las vigas principales y travesaños.

Figura 33

Armado de la estructura principal

**Tolvas de almacenamiento**

Para la elaboración de las tolvas se tomó en cuenta las tolerancias de medidas correspondientes y que al realizar el doblado se pasa un poco de la medida el material, por lo que se lo manda a cortar y doblar en un lugar específico de este tipo de trabajos, adicionalmente se realiza doblado en la parte posterior de las caras para poder asentar en los travesaños ya que son bastante pesadas las planchas, se realiza agujeros en las tolvas y en la estructura para asegurar la misma.

El montaje de ambas tolvas se realiza luego de haber doblado a medida y corregido ciertos errores en la perforación de agujeros que sirven de sujeción a la estructura como se visualiza en la figura 34.

Figura 34

Montaje de tolvas en la estructura

**Mezclador-Homogeneizador**

Para la realización del mezclador se toma en cuenta varios ejemplos de mezcladoras de granos y polvos, pero en la elaboración del mezclador para la dosificadora se necesita que el material sea distribuido a lo largo de toda la tolva, por lo que se realiza un diseño con doble listón, el cual se encarga de repartir el material de forma adecuada. Para esto, la selección de materiales no tuvo mayor complicación, pero sí el proceso de fabricación ya que se emplea una técnica de barolado de platina, el cual es necesario contemplar la medida del barolado y otra medida al ser estirado el listón. De igual forma ir asegurando las varillas que sirven de apoyo y van desde el eje del mezclador hacia los listones. Finalmente, el estirado se lo realiza con tecles para dar medida a conveniencia con el diámetro propuesto, como se muestra en la figura 35.

Figura 35

Construcción de homogenizador

**Rodillos de alimentación**

Para la selección de rodillos de alimentación se toma en cuenta que deben ser capaces de llevar desde la cámara de la tolva hacia la mesa móvil, por lo que se debe considerar una geometría que permita la tracción, de tal forma dosificar en base a la velocidad que se considere necesaria, y también tener en cuenta el espacio entre los rodillos.

Se muestra en la siguiente figura los rodillos seleccionados, cabe recalcar que son reciclados para disminuir costos.

Figura 36

Rodillos de alimentación de las tolvas

**Montaje de motores y transmisión**

El montaje de motores y transmisión de la figura 37, se realizó sobre las bases diseñadas en la estructura, se tiene en cuenta que se utiliza en total 5 motores, dos de cinco HP, dos de dos HP, y uno de un HP. Cada uno con su respectivo variador de frecuencia, por lo que no fue necesario considerar poleas de gran diámetro ni piñones que varíen mucho la relación de transmisión; ya que los variadores de frecuencia permitirán regular la velocidad en función del material a ser utilizado.

Figura 37

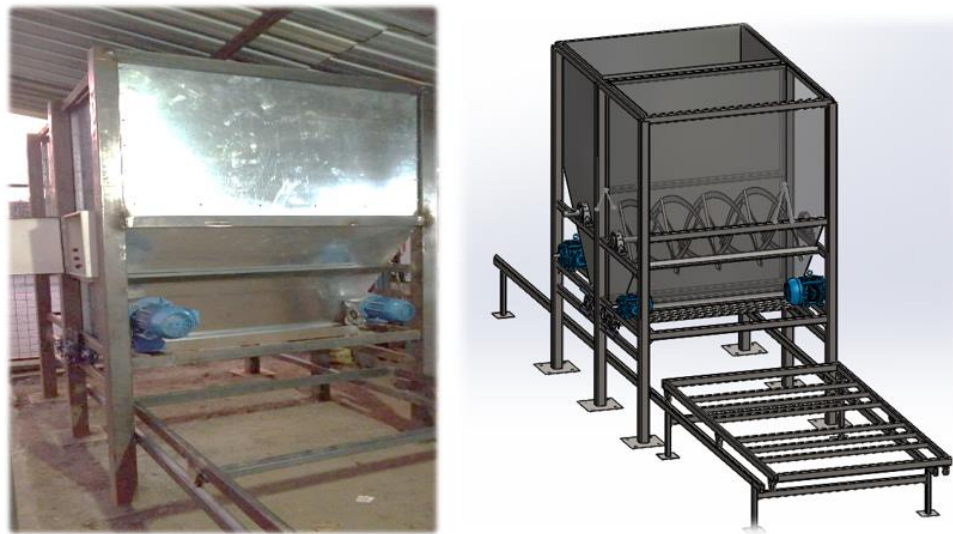
Montaje de motores y transmisión



La máquina ya construida se puede visualizar en la figura 38, en la cual se ha colocado a lado del diseño CAD inicial, para poder realizar una comparativa ya que se han adecuado soportes para los motorreductores en base a sus dimensiones. Para mayor información de los componentes se puede visualizar anexo 1.

Figura 38

Máquina construida y modelo CAD



Implementación de control

Se conecta de manera organizada los motores a los variadores de frecuencia, los mismos que se conectan a través de buses industriales de comunicación al PLC que será el encargado del control de los movimientos (figura 39), tanto del homogeneizador, de los rodillos de alimentación y del movimiento de la mesa móvil, en función de las etapas de disgregado.

Características del variador se encuentra en el Anexo 9 y 10.

Figura 39*Gabinete de control*

En la figura 40 se observa la tarjeta Raspberry Pi que se añade al sistema de control para proceder con la configuración del IOT en el sistema mecatrónico previamente ensamblado.

Figura 40*Raspberry Pi 3B*

Nota. En el anexo 11 se encuentra características técnicas de la placa

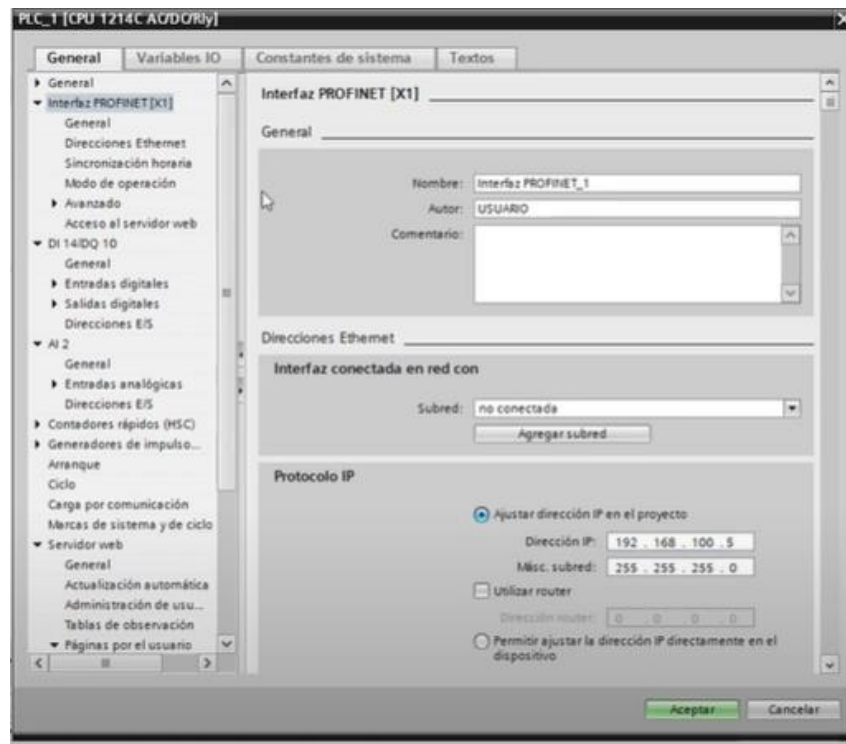
Configuración IOT

Configuración de PLC para IOT

Para comenzar con la configuración en TIA PORTAL, se debe ingresar a propiedades dentro del PLC S7-1200 y se configura la dirección IP; como se muestra en la figura 41.

Figura 41

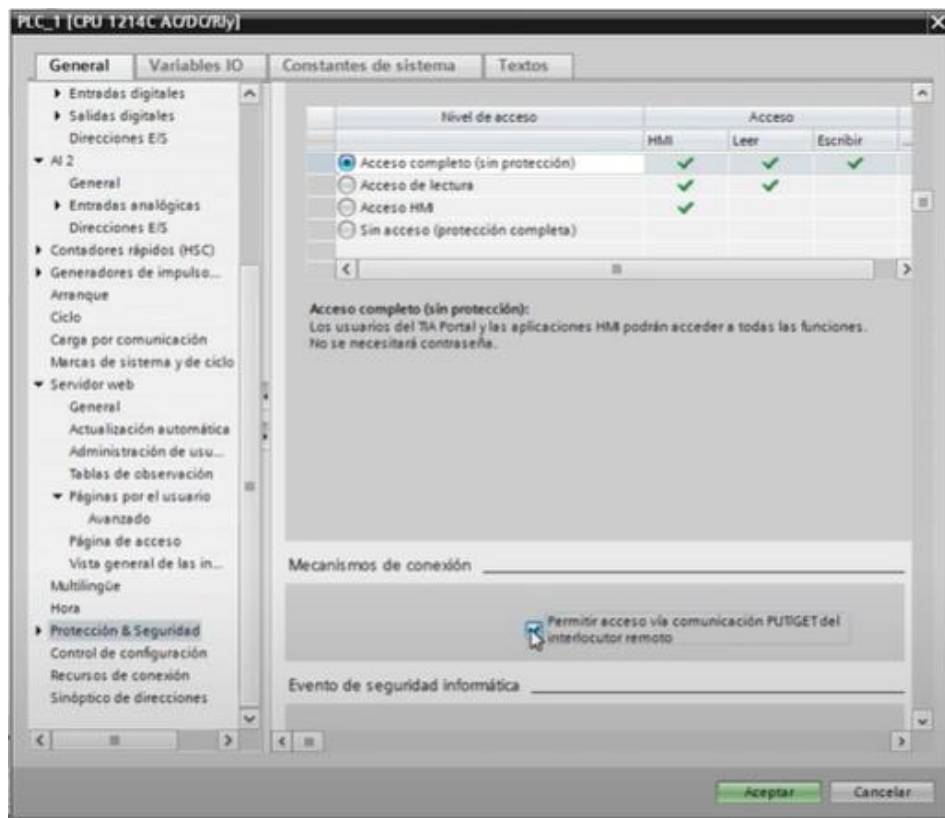
Configuración de IP en TIA PORTAL



Adicionalmente, como se observa en la figura 42; en el apartado de **Protección y Seguridad** / Mecanismos de conexión, permitir acceso vía comunicación PUTGET del interlocutor remoto, ésta es una de las condiciones que Snap 7 solicita para poder enlazar.

Figura 42

Configuración PUTGET en TIA PORTAL

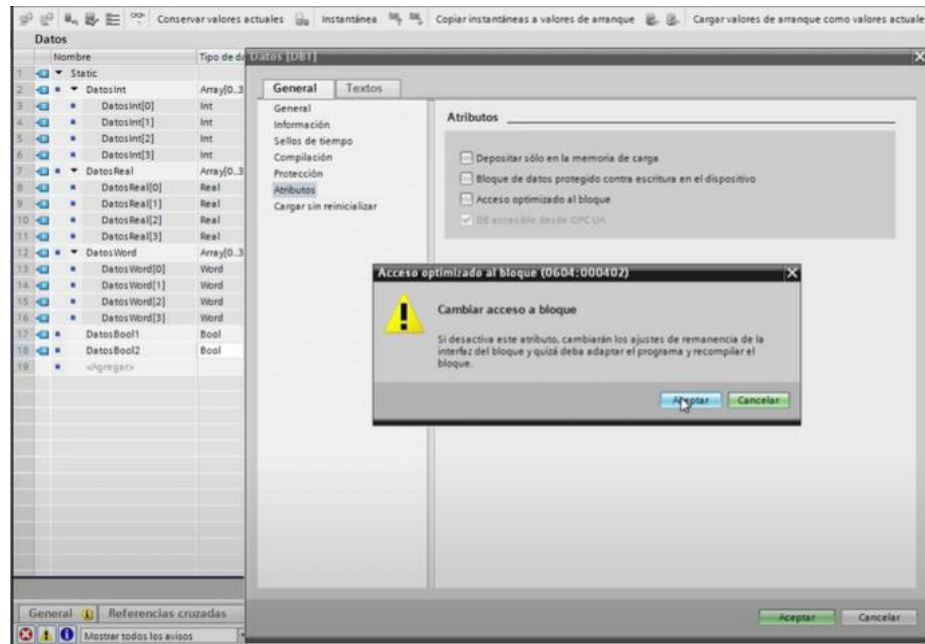


A continuación, se agrega un nuevo Bloque de Datos, en la cual se crean las variables que se van a utilizar durante el proceso.

Otra condición que solicita Node Red para enlazar es, dentro de TIA PORTAL dar click derecho en la parte de **Datos** / Propiedades y a continuación desactivar el acceso optimizado al bloque; esto se visualiza en la figura 43.

Figura 43

Acceso optimizado inhabilitado en TIA PORTAL

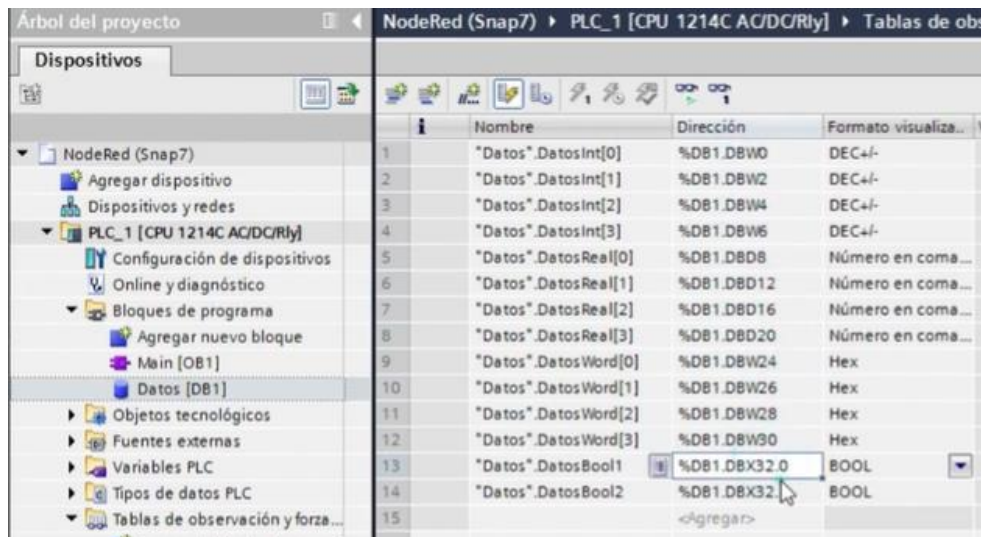


En la figura 44, se procede a compilar la base de datos y se crea una nueva Tabla de observación, y se llama a las variables previamente creadas y se observa la columna de **Dirección**, que brinda información de la sintaxis, el DB1 hace referencia a la Base de Datos, el tipo de dato, y la posición de memoria en la que se está almacenando.

Esto es de suma importancia ya que en el manual de Node Red/ Variable Addressing brinda las equivalencias de estos datos de Step 7, pero en el programa Node red, para que la sintaxis pueda coincidir.

Figura 44

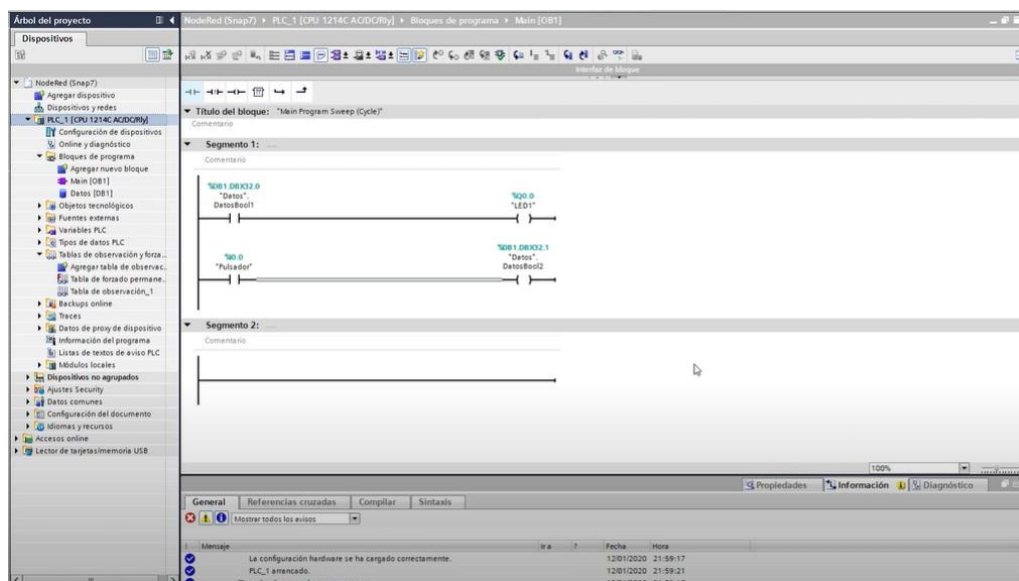
Creación de variables en TIA PORTAL



En el bloque **Main** los variables booleanos se asignan como pulsadores para controlar y realizar pruebas, y finalmente se comprueba la dirección IP y se carga al PLC, configurando la interfaz PG/PC mediante Wireless Network; como se visualiza en la figura 45.

Figura 45

Creación de datos booleanos en TIA PORTAL

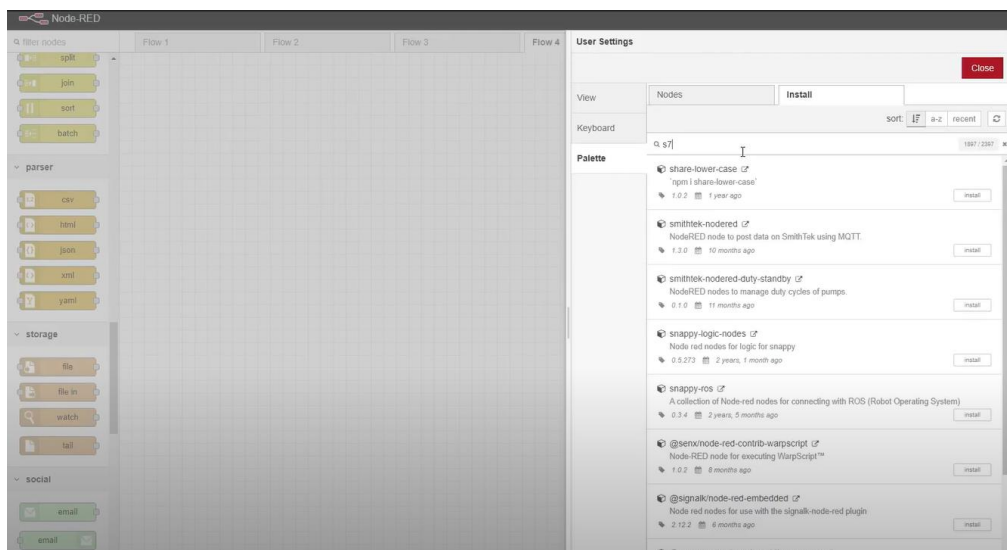


Programa en NodeRed

En la placa Raspberry, con el Node red ya instalado y habilitado, se procede a verificar a la IP a la que se debe conectar, se ingresa al buscador y se escribe la dirección IP antes verificada, se ingresa y se instala node red contrib S-7; como lo muestra la figura 26

Figura 46

Instalación de node red contrib S-7



En la figura 47, se procede a crear un nuevo flujo, arrastrando el Nodo In de S-7, se agrega el PLC y se configura en el Nodo la comunicación, dirección, puerto, slot y tiempo de cada ciclo. Adicionalmente se configura las variables en propiedades.

Figura 47

Configuración Nodo IN de S-7

Edit s7 in node > Add new s7 endpoint config node

Cancel Add

Properties

Connection Variables

Transport Ethernet (ISO-on-TCP)

Address 192.168.100.5 Port 102

Mode Rack/Slot

Rack 0 Slot 1

Cycle time 2000 ms

Timeout 1500 ms

Debug Default (command line)

Name Name

Se añaden las variables siguiendo la sintaxis mencionada en el manual del NodeRed, que se menciona previamente; ver figura 48.

Figura 48

Asignación de variables en Lista

Edit s7 in node > Add new s7 endpoint config node

Cancel Add

Properties

Connection Variables

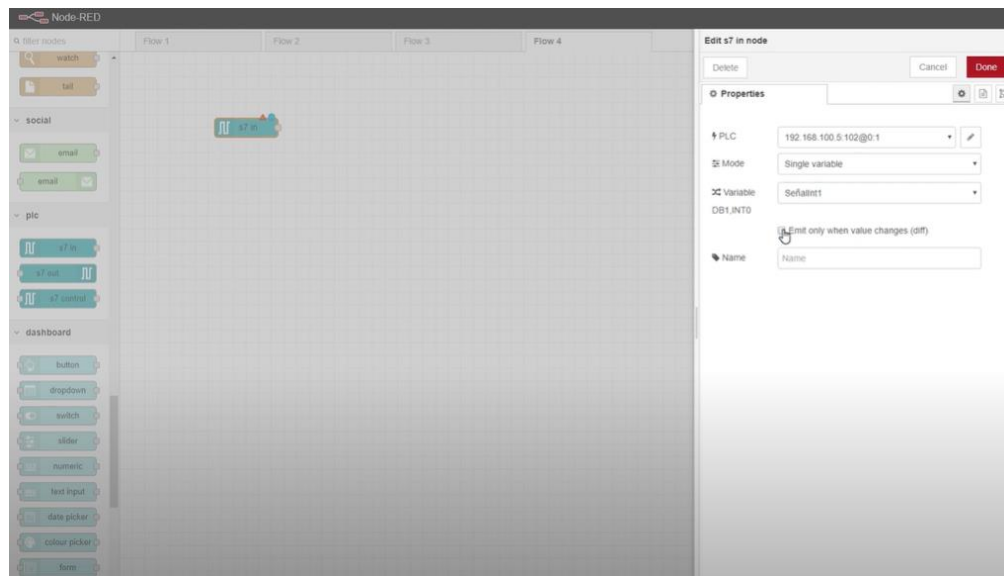
Variable list

DB1,INT0	SeñalInt1	x
DB1,INT2	SeñalInt2	x
DB1,REAL8	SeñalReal1	x
DB1,REAL12	SeñalReal2	x
DB1,WORD24	SeñalWord1	x
DB1,WORD26	SeñalWord2	x

En la figura 49 se observa la asignación de la variable al nodo creado previamente y se configura la emisión del valor en el caso que haya cambiado o que respete el ciclo asignado previamente.

Figura 49

Asignación de variable al Nodo In

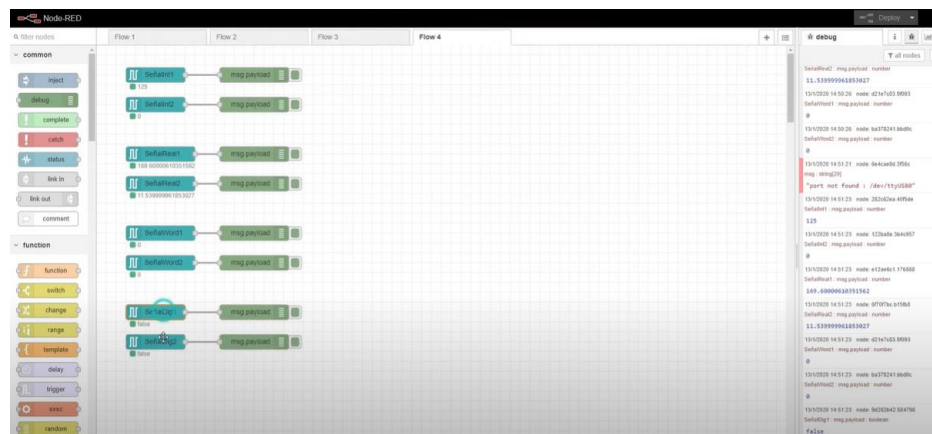


Se arrastra un bloque Debug desde la parte izquierda del programa, y se da click al Debug message, el cual debe mostrar el valor inicial de la variable, que para este caso inicia en cero.

El mismo procedimiento se realiza con el resto de variables y se fuerza valores para verificar que haya cambiado su estado; como se visualiza en la figura 50.

Figura 50

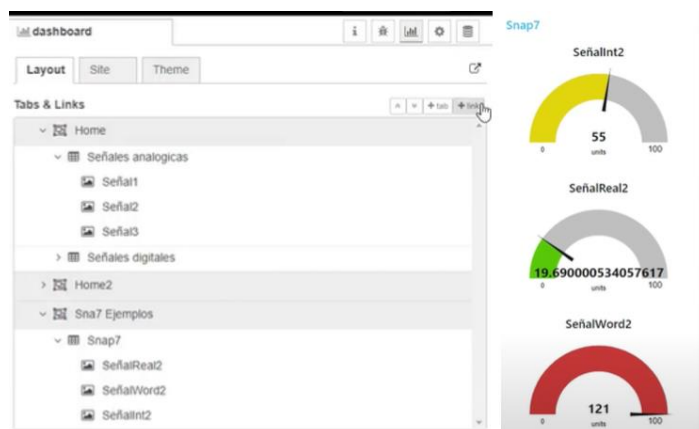
Configuración de Nodo Debug y forzado



En NodeRed se configura el **Dashboard**, dando click en la parte superior del menú **Datos**; con las señales que ingresan y se pueden manipular para que muestre en un medidor, una señal de tipo aviso o un histograma; como se observa en la figura 51.

Figura 51

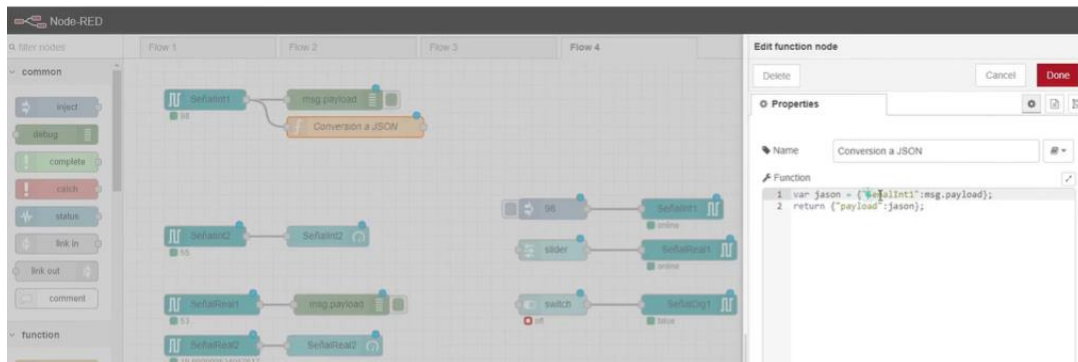
Dashboard en Node Red



Hasta este punto (figura 52), se tiene la adquisición de datos del TIA PORTAL hasta NodeRed, para poder llevar la señal a Ubidots, se debe añadir un bloque de función, arrastrando el mismo hasta la cuadrícula principal, en la cual se programe la variable a tipo Jason.

Figura 52

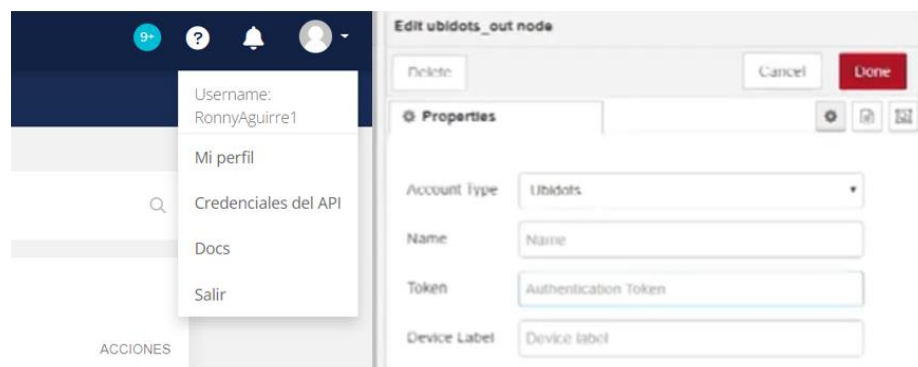
Bloque de función y programación



Se descarga los bloques de ubidots-nodered y se arrastra el bloque de ubidots_out, el cual se configura con el Token adquirido desde Ubidots en el apartado de Credenciales API, en Device Label se coloca el nombre que se desea para el Proyecto; como se observa en la figura 53.

Figura 53

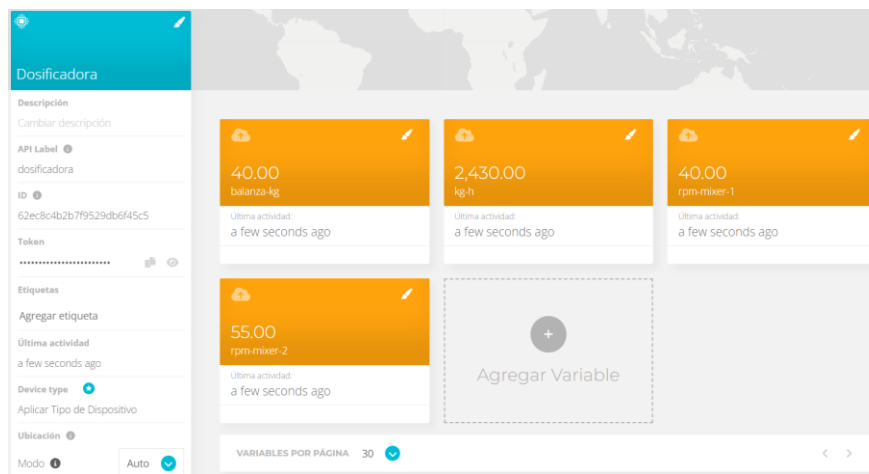
Configuración de nodo ubidots_out



En la figura 54 se visualiza que dicho proceso se realiza con el resto de variables y se verifica que lleguen las señales a Ubidots, con el nombre de la etiqueta que se asigna en NodeRed.

Figura 54

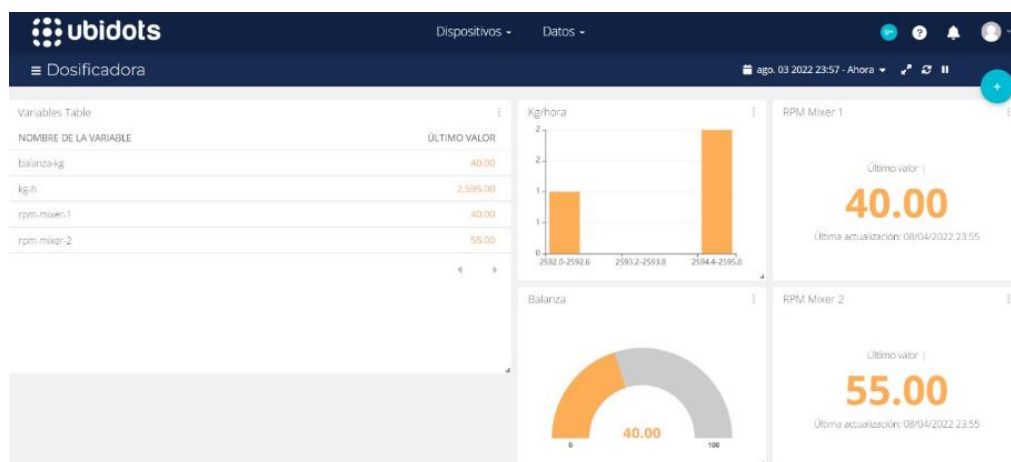
Verificación de variables en Ubidots



Finalmente ingresando en **ubidots.com** se registra y configura el Dashboard con los datos de las variables que se desea proyectar y controlar de ser el caso, en la figura se muestra los datos publicados relacionados a la velocidad de los mixer, el peso adquirido por la balanza, y los kilogramos generados en una hora; como se observa en la figura 55.

Figura 55

Creación de Dashboards en Ubidots



Análisis de costos

En la tabla 5 se muestra de forma detallada los recursos materiales y valor total empleado en el desarrollo del proyecto.

Tabla 5*Recursos materiales*

DENOMINACIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Motorreductores 5HP	2	\$400	\$800
Motorreductores 2HP	2	\$350	\$700
Motorreductores 1HP	1	\$300	\$300
Sensor de carga L6E3	4	\$150	\$600
Caja de Junta	1	\$60	\$60
Sensor Nivel LMT110	4	\$45	\$180
Sensor Inductivo	4	\$40	\$160
Fin de carrera	2	\$35	\$70
PLC S7 1200	1	\$500	\$500
Variadores de frecuencia	5	\$200	\$1000
HMI	1	\$450	\$450
Perfilería metálica y tuberías	1	\$2000	\$2000
Planchas de tol galvanizado	12	\$84	\$1008
Raspberry Pi 3B	1	\$100	\$100
Chumaceras	12	\$70	\$840
Complementos	-	\$500	\$500
Varios	-	\$300	\$300
		TOTAL	\$9608

A nivel nacional y regional, no hay máquinas similares por lo que el análisis se realiza en comparativa con los sueldos que la empresa se encuentra pagando por realizar dicho trabajo. Dos personas están a cargo del moldeo y enrasado. Por lo que actualmente la empresa paga 850 usd mensuales entre sus dos colaboradores. En poco menos de un año de trabajo de la máquina, recupera la inversión, ya que alcanzaría a cubrir su costo de fabricación en lugar de los sueldos de dos trabajadores durante el mismo periodo (10,200 usd).

Capítulo V

Pruebas y Resultados

Planteamiento de Hipótesis

Hipótesis

¿El diseño, construcción e implementación del sistema mecatrónico de dosificación y enrasado empleando IOT, disminuirá el tiempo de producción de tableros y cubiertas?

Variables de la investigación

- **Variable independiente**

El diseño, construcción e implementación del sistema mecatrónico de dosificación y enrasado

- **Variable dependiente**

Tiempo de producción de tableros y cubiertas

Comprobación de la hipótesis

Se determina el Flujo másico (Kg/h) en 20 pruebas realizadas tanto a la dosificación manual realizada por los empleados de la Empresa y a la dosificación que se lleva a cabo en la máquina implementada, resultados que se pueden visualizar en la tabla 6.

Tabla 6

Pruebas de lotes manual y máquina

Pruebas	Manualmente	Máquina
N=20	(Kg/h)	(Kg/h)
p1	1270,59	2592
p2	1227,27	2430
p3	1270,59	2592

Pruebas	Manualmente	Máquina
N=20	(Kg/h)	(Kg/h)
p4	1285,71	2430
p5	1213,48	2287,06
p6	1255,81	2287,06
p7	1301,2	2592
p8	1255,81	2990,77
p9	1255,81	2777,14
p10	1270,59	2160
p11	1241,38	2592
p12	1285,71	2287,06
p13	1270,59	2430
p14	1255,81	2990,77
p15	1255,81	2592
p16	1270,59	2777,14
p17	1285,71	2777,14
p18	1270,59	2592
p19	1227,27	2592
p20	1270,59	2777,14

A continuación en la tabla 7 se realiza la prueba de Normalidad a los valores obtenidos de las pruebas de dosificación manual, mediante el Test de Shapiro Wilk (ecuación 17); con el fin de estimar si la variable seleccionada tiene distribución normal o no.

$$SW_c = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_{(i)} - \bar{x})^2} \quad (17)$$

Donde:

SWc : Estadístico de prueba

x_i : Muestra ordenada

$x_{(i)}$: Muestra invertida Xi INV.

\bar{x} : Media muestral MED

a_i : Coeficientes para muestra de $n=20$

n : número de muestras

SWf : Estadístico de tabla

Pruebas de Normalidad al dosificado manual

	Xi	(Xi-MED)^2	ai	Xi INV	Dif(Xi-Xi INV)
	1213,48	2358,6078	0,4734	1301,20	-87,72
	1227,27	1209,3354	0,3211	1285,71	-58,44
	1227,27	1209,3354	0,2565	1285,71	-58,44
	1241,38	427,06289	0,2085	1285,71	-44,33
	1255,81	38,88146	0,1686	1270,59	-14,78
	1255,81	38,88146	0,1334	1270,59	-14,78
	1255,81	38,88146	0,1013	1270,59	-14,78
	1255,81	38,88146	0,0711	1270,59	-14,78
	1255,81	38,88146	0,0422	1270,59	-14,78
MANUAL	1270,59	73,00848	0,014	1270,59	0,00
	1270,59	73,00848		1270,59	
	1270,59	73,00848		1255,81	
	1270,59	73,00848		1255,81	
	1270,59	73,00848		1255,81	
	1270,59	73,00848		1255,81	
	1270,59	73,00848		1255,81	
	1270,59	73,00848		1255,81	
	1270,59	73,00848		1255,81	
	1270,59	73,00848		1255,81	
	1285,71	560,00856		1241,38	
	1285,71	560,00856		1227,27	

Xi	(Xi-MED)^2	ai	Xi INV	Dif(Xi-Xi INV)
1285,71	560,00856		1227,27	
1301,20	1533,0749		1213,48	
	9122,9087	-92,159745		
	Suma	Suma		
		producto		

Tabla 8

Resultado Test de Shapiro Wilk manual

Promedio	1262,05
SWc	0,931
SWf	0,905
p-value	>0.05

Con una significancia $p\text{-value } \alpha = 0.05$ y $n = 20$, se tiene un $SWf = 0.905$ según datos de tabla tomados de (Ramirez, 1993); que será comparado con SWc obtenido al aplicar la ecuación 17. Los resultado se muestran en la tabla 8. Y debido a que $SWc > SWf$; se determina que la distribución es normal en el dosificado manual, caso contrario sería no normal.

También se realiza la prueba de Normalidad a los valores obtenidos de las pruebas de dosificación por máquina, mediante el Test de Shapiro Wilk; como se observa en la tabla 9.

Tabla 9

Pruebas de Normalidad al dosificado por máquina

	Xi	(Xi-MED)^2	ai	Xi INV	Dif(Xi-Xi INV)
	2160	208454,136	0,4734	2990,77	-830,77
	2287,06	108575,376	0,3211	2990,77	-703,71
	2287,06	108575,376	0,2565	2777,14	-490,08
	2287,06	108575,376	0,2085	2777,14	-490,08
	2430	34807,5357	0,1686	2777,14	-347,14
	2430	34807,5357	0,1334	2777,14	-347,14
	2430	34807,5357	0,1013	2592	-162,00
	2592	603,575705	0,0711	2592	0,00
	2592	603,575705	0,0422	2592	0,00
	2592	603,575705	0,014	2592	0,00
	2592	603,575705		2592	
	2592	603,575705		2592	
	2592	603,575705		2592	
	2592	603,575705		2430	
	2777,14	25783,4385		2430	
	2777,14	25783,4385		2430	
	2777,14	25783,4385		2287,06	
	2777,14	25783,4385		2287,06	
	2990,77	140027,303		2287,06	
	2990,77	140027,303		2160	
		1026016,26	-968,381879		
		Suma	Suma		
			producto		

Tabla 10

Resultado Test de Shapiro Wilk máquina

Promedio	2616,57
SWc	0,914
SWf	0,905
p-value	>0.05

De la misma manera, con una significancia p-value $\alpha = 0.05$ y $n = 20$, se tiene un $SWf = 0.905$ según datos de tabla tomados de (Ramirez, 1993); que será comparado con SWc obtenido. Los resultado se muestran en la tabla 10. Y debido a que $0.914 > 0.905$; se determina que la distribución es normal, para las muestras obtenidas del dosificado por máquina.

En base a la hipótesis: ¿El diseño, construcción e implementación del sistema mecatrónico de dosificación y enrasado empleando IOT, disminuirá el tiempo de producción de tableros y cubiertas?

Se plantea la hipótesis nula y la alternativa en la tabla 11:

Tabla 11

Hipótesis Nula y Alternativa

h0	$\mu d \geq 0$	El diseño, construcción e implementación del sistema mecatrónico de dosificación y enrasado empleando IOT, no disminuirá el tiempo de producción de tableros y cubiertas
h1	$\mu d < 0$	El diseño, construcción e implementación del sistema mecatrónico de dosificación y enrasado empleando IOT, disminuirá el tiempo de producción de tableros y cubiertas

Aplicación de prueba T de Student (Muestras relacionadas), una vez comprobada la normalidad de las muestras; como se visualiza en la figura 56.

Figura 56

Prueba T de Student: Muestras relacionadas

$H_0: \mu_d = 0$ $H_0: \mu_d \leq 0$ $H_0: \mu_d \geq 0$
 $H_1: \mu_d \neq 0$ $H_1: \mu_d > 0$ $H_1: \mu_d < 0$

Estadístico de prueba

$$t = \frac{d}{S_d / \sqrt{n}}$$

Donde:

t : Estadístico t calculado.
 \bar{d} : Promedio de las diferencias.
 S_d : Desv. estándar de las diferencias.

$$S_d = \sqrt{\frac{(d_i - \bar{d})^2}{n - 1}}$$

Que sigue una distribución t con $n - 1$ grados de libertad.

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) si:

$t < -t_{(1-\frac{\alpha}{2}), (n-1)}$ o $t > t_{(1-\frac{\alpha}{2}), (n-1)}$ (Bilateral)
 $t > t_{(1-\alpha), (n-1)}$ (Unilateral derecha)
 $t < t_{(\alpha), (n-1)}$ (Unilateral izquierda)

Con significancia de $\alpha = 0.05$, de forma unilateral hacia la izquierda y con la hipótesis planteada en la tabla 11, y aplicando las ecuaciones 18 y 19:

$$S_d = \sqrt{\frac{(d_i - \bar{d})^2}{n - 1}} \quad (18)$$

$$t = \frac{d}{S_d / \sqrt{n}} \quad (19)$$

Donde:

t : Estadístico t calculado

\bar{d} : Promedio de las diferencias

S_d : Desviación estándar de las diferencias

Se enlista en la tabla 12 la comparativa de las muestras obtenidas al dosificar manualmente y al dosificar con la máquina, seguido de la diferencia entre dichos valores.

Tabla 12*Comparativa de muestras*

Pruebas N=20	Manualmente (Kg/h)	Maquina (Kg/h)	Diferencia
p1	1270,59	2592	-1321,41
p2	1227,27	2430	-1202,73
p3	1270,59	2592	-1321,41
p4	1285,71	2430	-1144,29
p5	1213,48	2287,06	-1073,58
p6	1255,81	2287,06	-1031,25
p7	1301,2	2592	-1290,8
p8	1255,81	2990,77	-1734,96
p9	1255,81	2777,14	-1521,33
p10	1270,59	2160	-889,41
p11	1241,38	2592	-1350,62
p12	1285,71	2287,06	-1001,35
p13	1270,59	2430	-1159,41
p14	1255,81	2990,77	-1734,96
p15	1255,81	2592	-1336,19
p16	1270,59	2777,14	-1506,55
p17	1285,71	2777,14	-1491,43
p18	1270,59	2592	-1321,41
p19	1227,27	2592	-1364,73
p20	1270,59	2777,14	-1506,55
PROMEDIO	1262,046	2577,264	
VARIANZA	480,153	52374,7643	

En la tabla 13 se observa los resultados obtenidos al aplicar las ecuaciones 17 y 18.

Tabla 13*Resultado T de Student: muestras relacionadas*

	Manualmente	Máquina
Media	1262,0455	2577,264
Varianza	480,153089	52374,7643
Observaciones	20	20
Coefficiente de correlación de Pearson	0,08015183	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	19	
Estadístico t	-25,7809096	
P(T<=t) una cola	1,5085E-16	
Valor crítico de t (una cola)	1,72913281	
P(T<=t) dos colas	3,0171E-16	
Valor crítico de t (dos colas)	2,09302405	

Resultado

Debido a que el **valor Estadístico t** es mucho menor que el **Valor crítico**, como se muestra en la tabla 13; se rechaza la hipótesis nula.

Por lo tanto, se procede a aceptar que el diseño, construcción e implementación del sistema mecatrónico de dosificación y enrasado empleando IOT, disminuirá el tiempo de producción de tableros y cubiertas.

El tiempo de producción está directamente ligado al volumen de producción, tomando en cuenta el promedio de las muestras obtenidas de la dosificación manual de los operarios, y el promedio de las muestras de dosificación realizada por máquina de la tabla se evidencia lo siguiente:

$$\text{Máquina} = 2577.264 \text{ Kg} \rightarrow 60 \text{ minutos}$$

$$\text{Manual} = 1262.046 \text{ Kg} \rightarrow X \text{ minutos en máquina}$$

Resolviendo la regla de 3; presentada en la ecuación 18:

$$X = \frac{\text{Prod. manual(Kg)} \times \text{tiempo(min)}}{\text{Prod. máquina(Kg)}} \quad (20)$$

$$X = \frac{1262.046 \text{ Kg} \times 60 \text{ minutos}}{2577.264 \text{ Kg}}$$

$$X = 29.38 \text{ min} = (29 \text{ min}, 23\text{s})$$

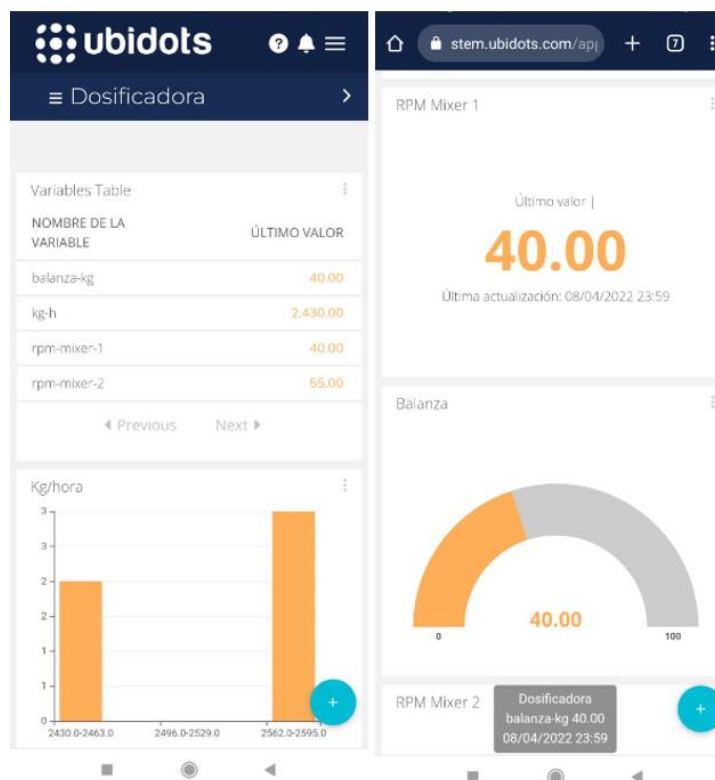
Por lo que representa una disminución de tiempo del **48.96%** con respecto al dosificado por lote de forma manual.

Adicionalmente se realiza la verificación de publicación de datos de dosificado en la red, cabe recalcar que esta aplicación se puede visualizar desde cualquier parte del mundo, incluso en dispositivos móviles, simplemente ingresando a **ubidots.com**, registrándose con el usuario y contraseña correspondiente y con el enlace generado por el dispositivo.

Al ingresar desde un celular al link, previamente descrito y después de registrarse, se observa en el apartado de **Dispositivos/ Dosificadora** la publicación de datos referentes a el peso obtenido en la balanza, los Kg-h del último lote y la velocidad a la que está configurado el mixer 1 y 2.

Figura 57

Visualización en dispositivos móvil



De modo que la gestión de información de la dosificadora la realiza cualquier persona con credenciales en Ubidots, lo que permite tener información en tiempo real de la producción y verificar los valores de las variables que influyen en el proceso de dosificado de Polialuminio en la Empresa Ecuaplástico.

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Se investigó el estado del arte referente a sistemas de dosificación y enrasado del PEAL, a nivel nacional e internacional, en el cual a nivel Latinoamérica el más avanzado es Brasil, mientras que a nivel nacional no existe un referente.
- Las diferentes etapas corresponden al pesaje del material, distribución en un molde rectangular, enrasado y empacado del mismo para su posterior sellado, todo realizado de forma manual por dos o tres operarios.
- El procedimiento de diseño mecánico de la máquina de dosificación se realizó a partir de la generación de conceptos, considerando las necesidades del cliente y enlistando las métricas correspondientes.
- El proceso de automatización del proyecto se desarrolló en función de la identificación de las áreas que influyen en la fabricación de los tableros Ecopak.
- Los beneficios al considerar de diseño para la industria, manufactura y ambiente son: Reducción de costos a mediano y largo plazo, mejora del SSO de la Empresa involucrada, disminución del impacto ambiental, eficiencia en el proceso de fabricación de tableros conformados en la Empresa.
- En las pruebas enlistadas en el capítulo V en producción por lotes en Kg/h se evidenció el tiempo que corresponde a la dosificación manual por los operarios.
- Se concluyó que el material PEAL tiene un comportamiento particular, para el cual se propuso el diseño de un sistema mecatrónico único, que dosifica y enrasa de manera uniforme a lo largo de un área específica.
- Se diseñó los componentes mecánicos y eléctricos correspondientes a los sistemas de recepción, mezcla, dosificado y enrasado de material PEAL.

- Se analizó y seleccionó materiales que satisfagan las aplicaciones en entornos industriales basándose en los enfoques de diseño industrial, diseño para la manufactura y diseño para el ambiente.
- Se estableció el algoritmo de control para implementarlo en las etapas de dosificado mediante dispositivos de control electrónico.
- Se realizó pruebas referentes al comportamiento de los subsistemas mediante pruebas software in the loop y hardware in the loop.
- Se consiguió integrar los subsistemas y componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos de control en la construcción física del sistema funcional.
- Se Implementó una red IOT con protocolos de comunicación, haciendo uso de Node Red, Snap7 y Ubidots, para la adquisición y gestión de los datos referentes a producción; logrando mejorar la eficiencia en la gestión del proceso de fabricación de tableros Eco Pak.
- Se comprobó la hipótesis alternativa después de aplicar el Test T de Student y se aceptó que el tiempo de producción disminuye con la implementación del sistema mecatrónico y supera la producción manual de los operarios en la elaboración de tableros Eco Pak y cubiertas. El tiempo de producción disminuyó de (60 min, 0s), a (29 min, 23s) por lote, constituyendo un 48.96% de ahorro de tiempo.

Recomendaciones

- El diseño y selección de materiales y equipos para la construcción de maquinaria se debe realizar en función de disponibilidad en el mercado nacional e internacional, para evitar contratiempos en el desarrollo del proyecto.
- Se recomienda instalar un switch industrial en la red generada con el fin de mantener separados la parte de potencia de los dispositivos de control como la tarjeta Raspberry para evitar el ruido en la adquisición de datos.
- Existen varias partes de la estructura que se pueden conseguir en recicladoras de metales, las cuales mantienen en buen estado varios elementos como piñones, ejes y tubería, lo cual contribuye a la reutilización y conservación del medio ambiente.
- Se recomienda seguir detalladamente las especificaciones del manual de Node Red para la comunicación con TIA PORTAL, con el objetivo de enlazar correctamente ambos entornos.
- Se recomienda utilizar el enlace S7, Node Red y Ubidots para conseguir la implementación del sistema IOT, debido a su relativa facilidad de configuración y ser software libre.
- Se recomienda seguir el procedimiento de diseño para la manufactura, para el ambiente, y diseño para la industria en trabajos relacionados, ya que permite disminuir el tiempo de construcción y ahorro de costos de manera significativa.

Bibliografía

acesco. (s.f.). *www.acesco.com*. Obtenido de *www.acesco.com*:

<https://www.acesco.com.co/descargas/fichastecnicas/ficha-tecnica-acero-recubierto.pdf>

Albert, R. V. (2018). *Proyecto de Integración de autómatas programables Simatic S7-1200 en red IOT*. Valencia.

Barrera, G. M. (2015). *Materiales Sustentables y Reciclados en la Construcción*. Omnia Publisher SL.

Budynas, R. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Monterrey: Mc Graw Hill.

DIPAC. (2020). *CATÁLOGO GENERAL DE PRODUCTOS*. Obtenido de

<https://www.dipacmanta.com/Catalogos-descargas/catalogo-2020.pdf>

Equipo_ESSS. (8 de Agosto de 2014). Obtenido de <https://www.esss.co/es/blog/ingenieria-asistida-por-computadora-que-es-y-como-funciona/>

Erdozain Vera, A. (1 de Enero de 2013). *Creación y configuración de un OPC Server para control de dispositivos PLC Siemens S7-1200*. Obtenido de <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/7003/577997.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

es-academic.com. (s.f.). Obtenido de <https://es-academic.com/dic.nsf/eswiki/85395>

Grijalva, P. A. (2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE DOSIFICACIÓN DE MICRO NUTRIENTES PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA AVIPAZ CÍA LTDA*. Latacunga.

Hernando, J. M. (1991). *Sistemas de Telecomunicación: Transmisión por línea y redes*. Madrid: E. T. S. I. Telecomunicación.

IBM. (12 de Abril de 2021). *Documentación: Protocolos TCP/IP*. Obtenido de

<https://www.ibm.com/docs/es/aix/7.2?topic=protocol-tcpip-protocols>

Javvin Technologies Inc. (2005). *Network Protocols Handbook*. Saratoga.

Luque, E. (2019). *Diseño de una máquina mezcladora de alimento*. Lima.

- Machado, J. E. (2001). *Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos*. Bogotá.
- McElhiney, R. (1994). *Tecnología para la fabricación de alimentos balanceados*. American Feed Industry Association.
- Merzouki, R., Samantaray, K. A., Pathak, P. M., Bouamama, &, & O., B. (2012). *Intelligent mechatronic systems: modeling, control and diagnosis*. Springer Science & Business Media.
- Mott, R. (2009). *Resistencia de Materiales*.
- Najera, S. (2009). *Repositorio UG*. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/26723>
- OpenJS Foundation & Contributors. (Octubre de 2016). *Node-RED: Low-code programming for event-driven applications*. Obtenido de <https://nodered.org>
- Ramirez, M. (1993). *Métodos estadísticos no paramétricos*. Texcoco.
- Reciclario. (s.f.). Obtenido de <https://reciclario.com.ar/indice/tetra-brik/>
- Reciclo, D. (s.f.). *dondereciclo.org*. Obtenido de <https://www.dondereciclo.org.ar/blog/reciclar-tetra-brik/imgo/>
- Roger Álvarez. (2014). *Diseño, construcción y pruebas de un prototipo automatizado para dosificación y mezclado de 4 componentes, tres de ellos a granel y uno líquido obteniendo como mezcla hasta 15 Kg/h para el laboratorio de automatización industrial*.
- Rosero, P., Núñez, S., Realpe, S., Alvear, V., Beltrán, L., & Rosado, C. (Marzo de 2017). Internet de las cosas y Redes de sensores inalámbricos: review. *Sistemas embebidos estado actual con visión al futuro*, 31-37. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/316438631_INTERNET_DE_LAS_COSAS_Y_REDES_DE_SENSORES_INALAMBRICOS_REVIEW
- Seely, S. (1997). *Curso superior de resistencia de materiales*. Buenos Aires.
- Solid Solution Group. (2013). Obtenido de <https://www.solids.es/es/instalaciones-sistemas/silos-equipados/instalaciones-de-silos-silos-adecuados-para-los-productos.html>

Sourceforge Snap7. (4 de Diciembre de 2016). *Snap7: Overview*. Obtenido de <http://snap7.sourceforge.net/>

Ubidots Foundation. (2022). *Ubidots: About*. Obtenido de <https://www.ubidots.com/about>

Vidosic, J. (s.f.). *Machine design projects*. Ronald Press Co.

WAGO. (28 de Julio de 2020). *Rápida comunicación entre dispositivos de campo y automatización: Modbus*. Obtenido de <https://www.wago.com/es/modbus>

Wonderware. (2022). *¿Qué es SCADA?: Supervisory Control and Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos)*. Obtenido de <https://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-scada/>

Glosario de términos

m = Masa

V = Volumen

α = Ángulo de inclinación

r = Longitud de boca de la tolva

ρ = Densidad del Polialuminio

H = Altura media

w = Carga distribuida de manera uniforme

Pr_{media} = Presión media

s = Esfuerzo ejercido en la placa

c = Longitud menor en la placa

h_t = Longitud mayor en la placa

t = Espesor

S_y = Esfuerzo a la fluencia

$\sigma_{admisible}$ = Esfuerzo admisible

F = Fuerza aplicada

T_1 = Torque 1

T_2 = Torque 2

T_t = Torque total

P_r = Potencia

T = Par motor

N = Velocidad en RPM

K = Constante de conversión

τ = Esfuerzo cortante máximo

FS = Factor de seguridad

Anexos