

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

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

“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.”

AUTORES: AGUIRRE FLORES, RONNY PAUL

YASELGA CUEVA, DAVID RICARDO

DIRECTOR: ING. SINGAÑA AMAGUAÑA, MARCO ADOLFO

Latacunga, 2022



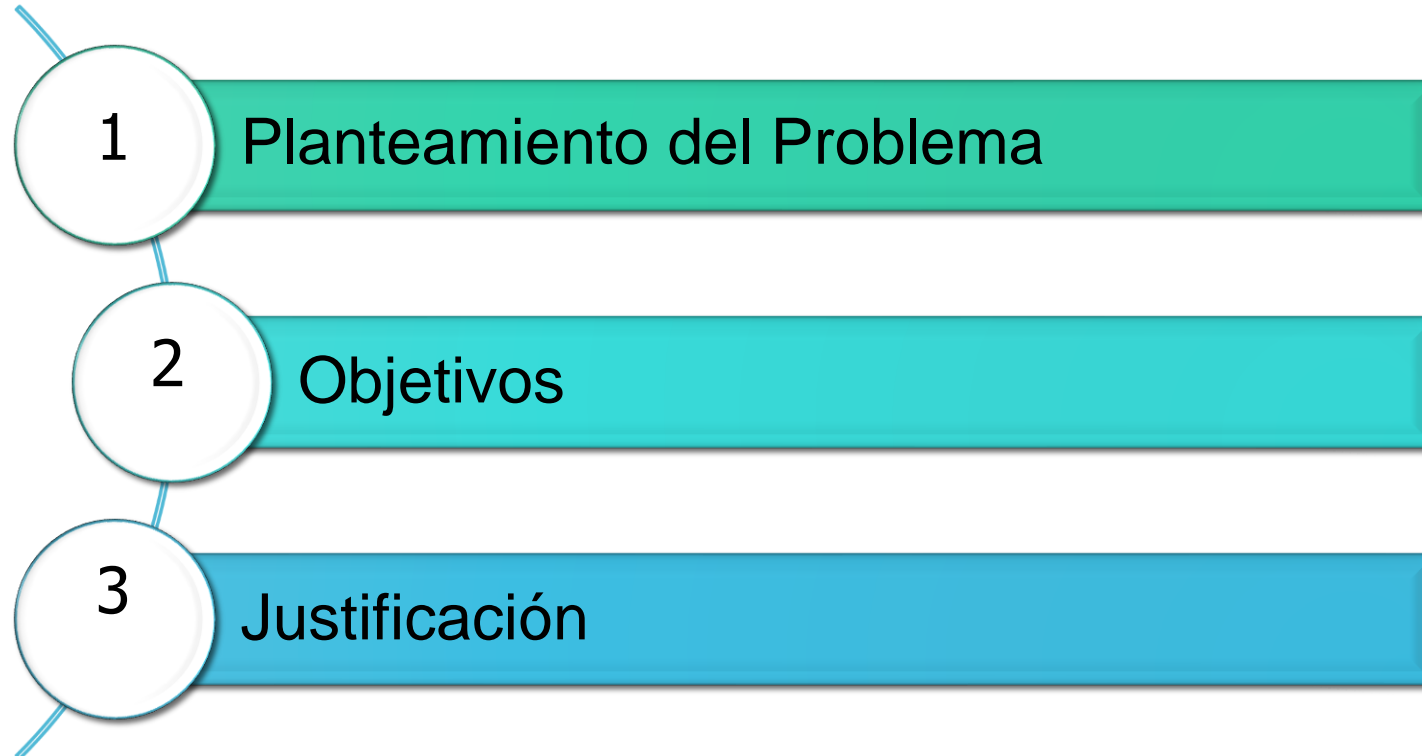


CONTENIDO

- 1 Introducción
- 2 Descripción del Sistema mecatrónico
- 3 Construcción
- 4 Pruebas y resultados
- 5 Conclusiones y Recomendaciones



INTRODUCCIÓN



Planteamiento del Problema



BEFORE

AFTER



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.

Objetivos Específicos



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.

Justificación



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.



Descripción del Sistema Mecatrónico de dosificado con IOT

- 1 Métricas
- 2 Diseño del Sistema
- 3 Selección de componentes
- 4 Pesos específicos de los elementos del proyecto

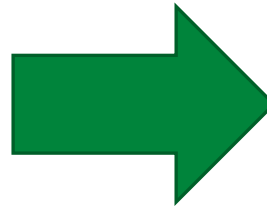
Necesidades del sistema de dosificado reflejadas en métricas



Necesidades

Métricas

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



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)(número 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 enrasado (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)

Consideraciones de Diseño

Diseño para la industria (DPI)

- Robustez
- Confiabilidad



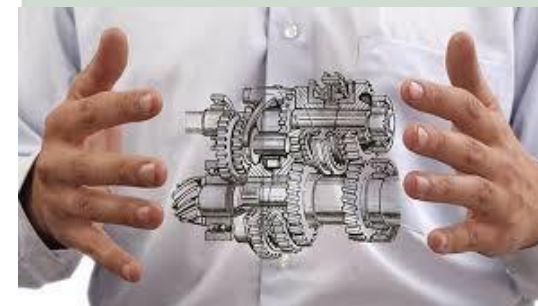
Diseño para el ambiente (DPA)

- Reutilización
- Impacto ambiental

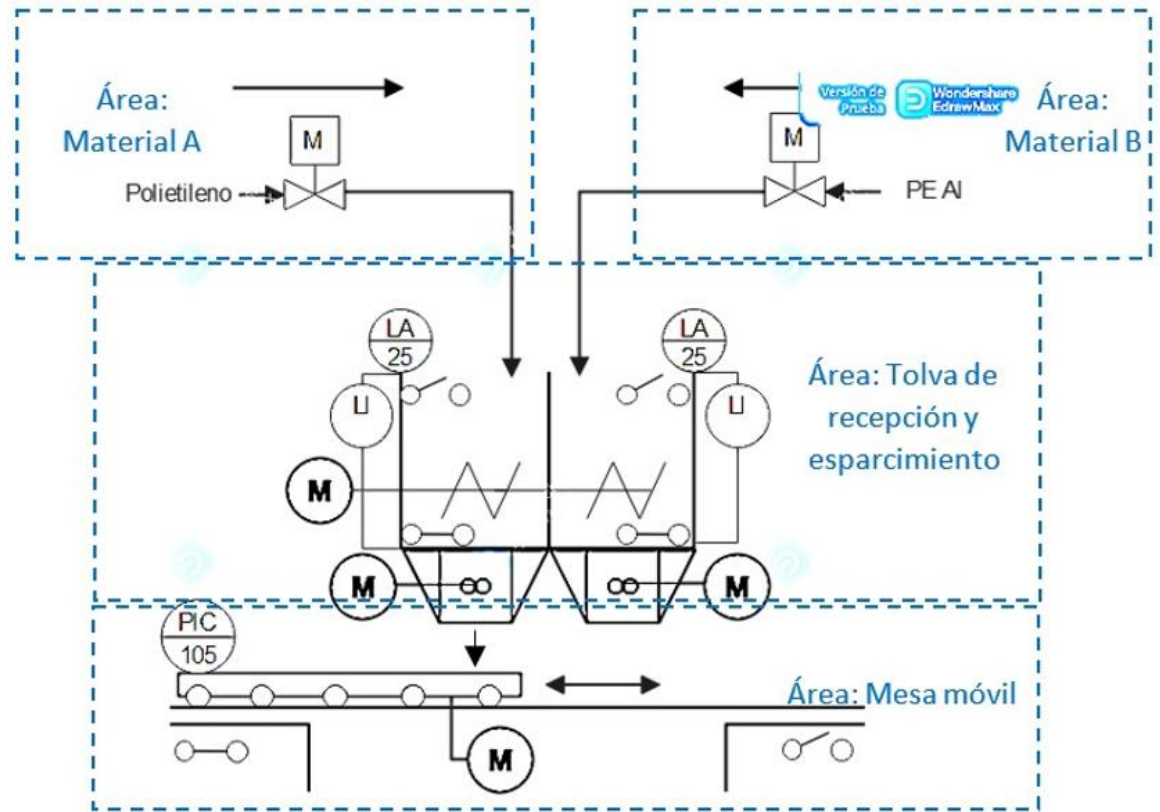
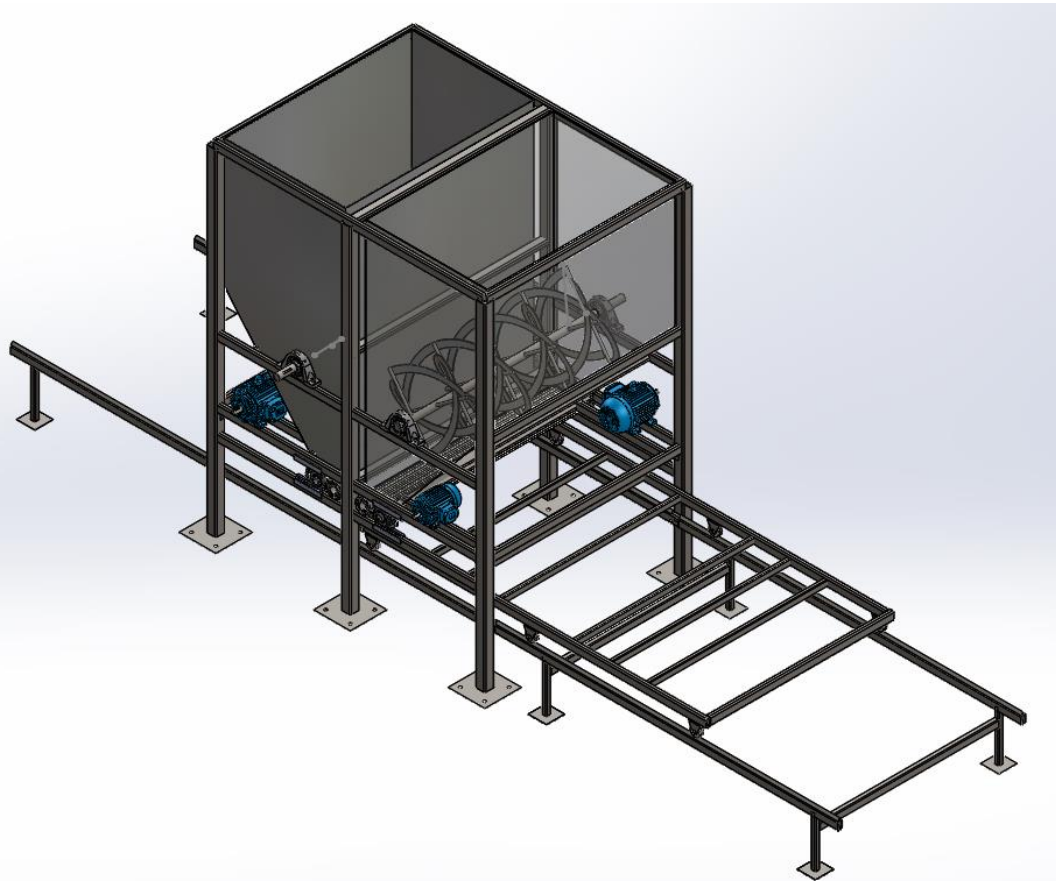


Diseño para la manufactura (DPM)

- Fabricación
- Ensamble

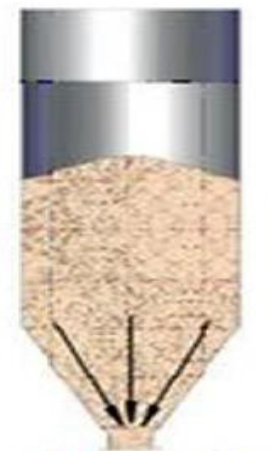


Dosificadora y diagrama P&ID de subsistemas



Propiedades de Polialuminio

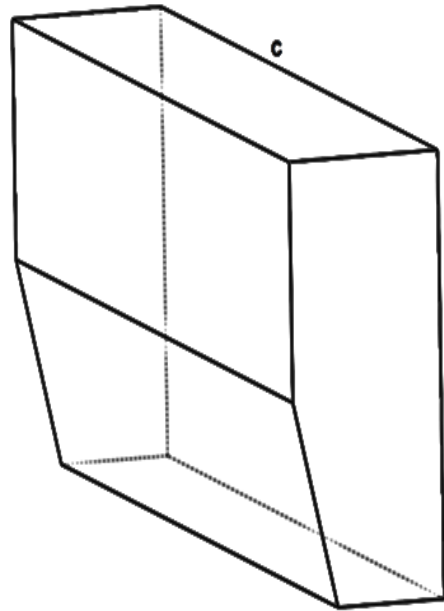
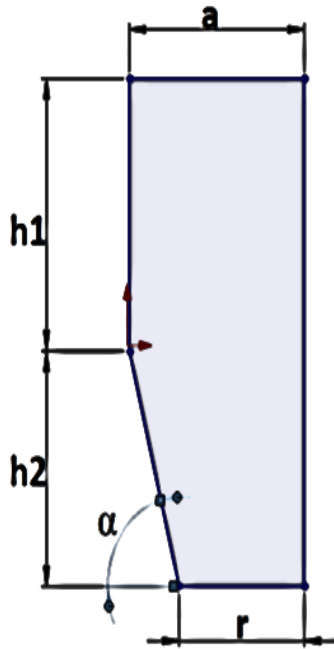
Propiedades	Valor	Unidad
Tensión a la ruptura	10.9	MPa
Elongación a la ruptura	38.8	%
Módulo elástico	177.6	MPa
Resistencia al impacto Izod	302.0	MPa
Conductividad eléctrica	1.11×10^{-8}	S/cm
Densidad	0.09179	g/cm ³



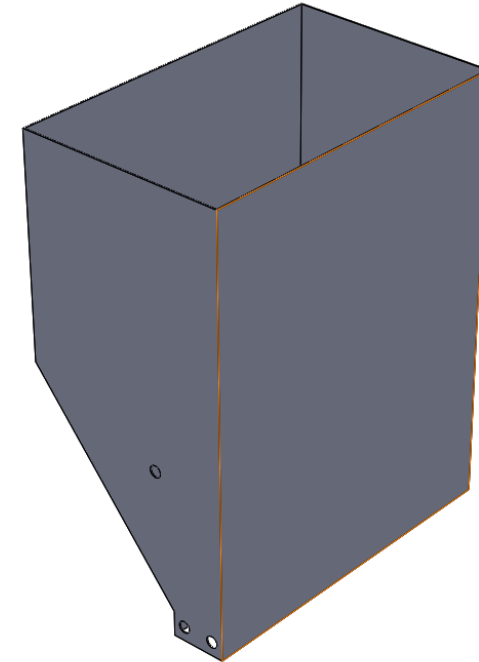
Flujo másico



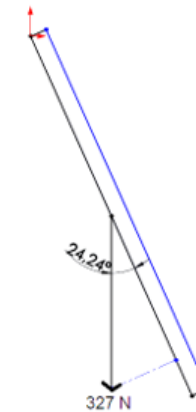
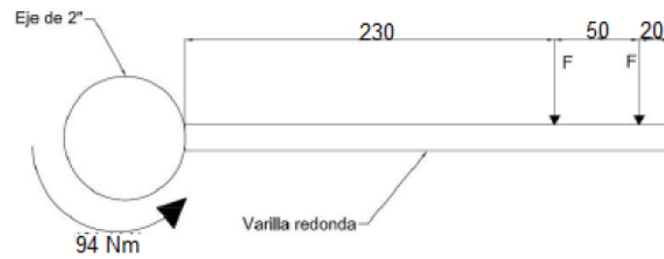
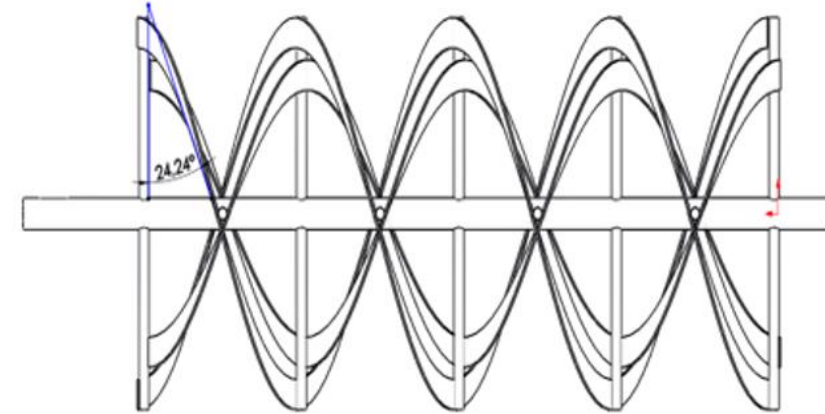
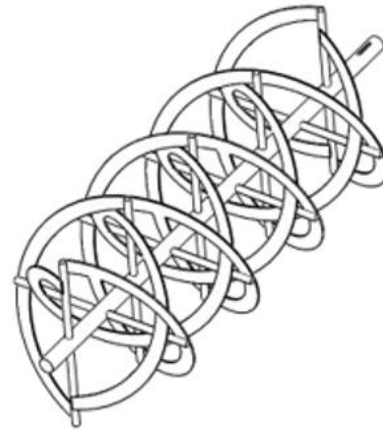
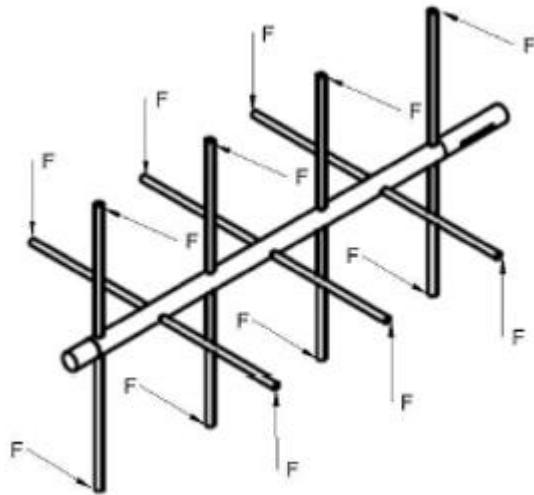
Diseño de Tolva



$$\alpha = 50^\circ$$
$$r = 0.30 \text{ m}$$



Dosificadora de Homogeneizador

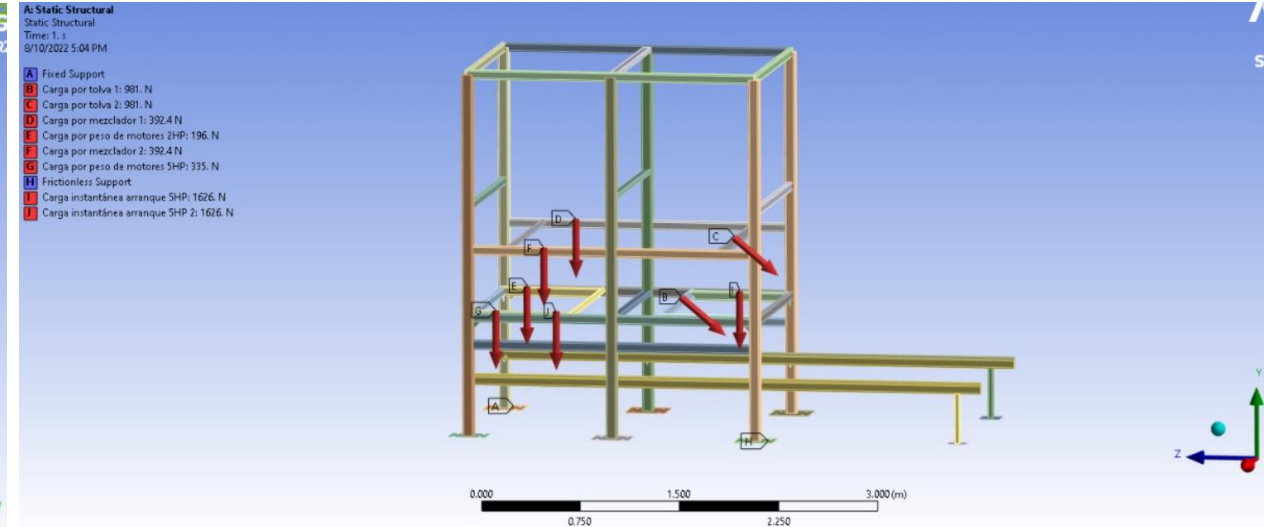
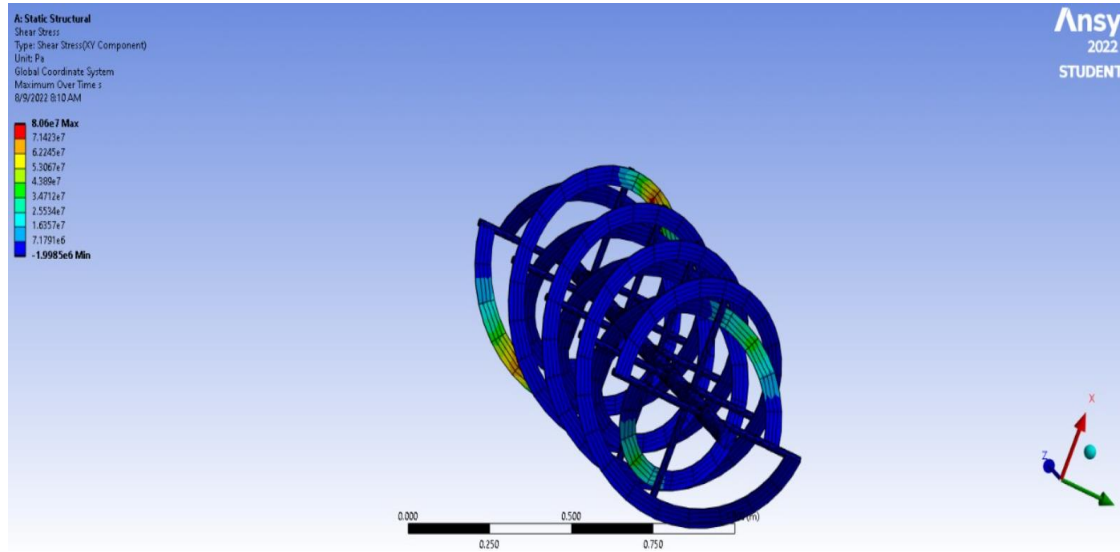


Validación CAE



A) Análisis estático estructural-Homogeneizador

B) Análisis estático estructural-Estructura



Red IOT



Elementos de la red IOT

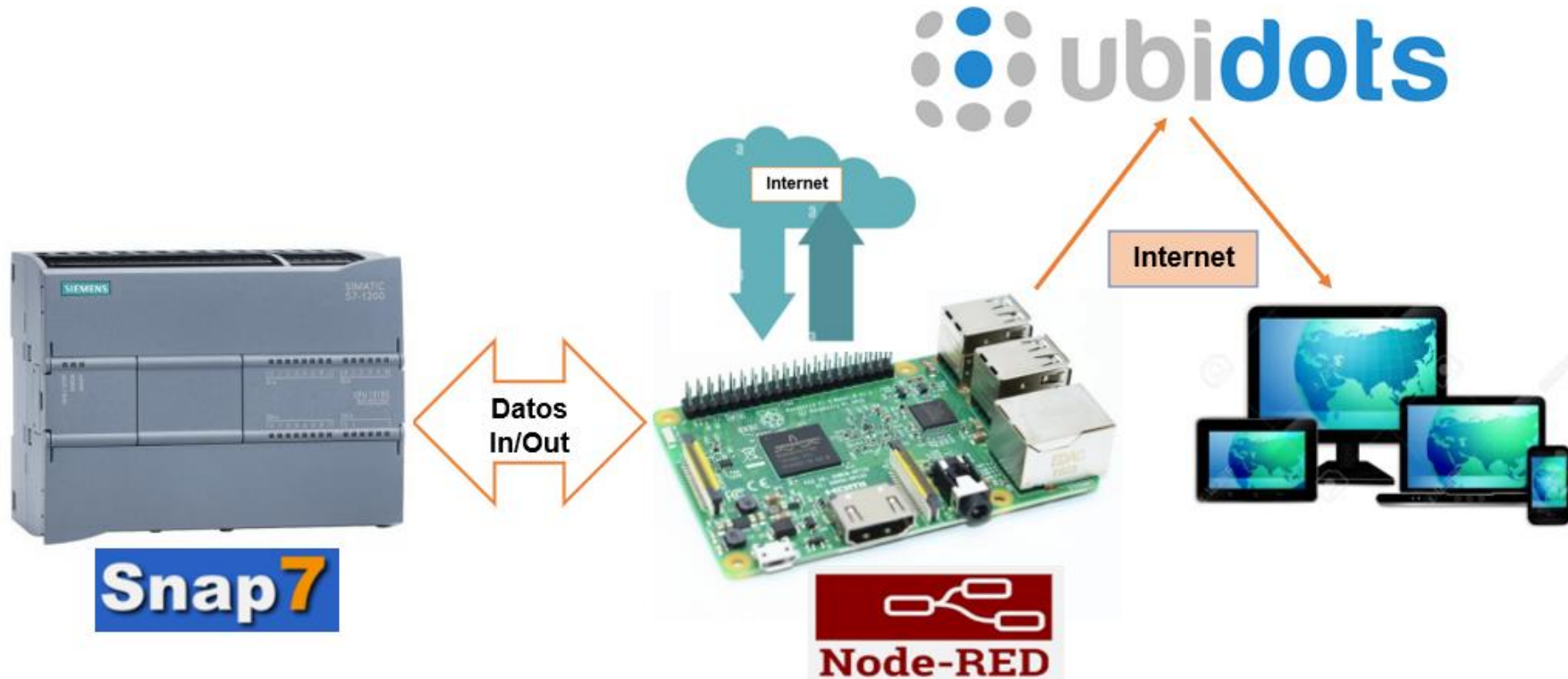


Diagrama Control



Diagrama de flujo del control de Dosificadora

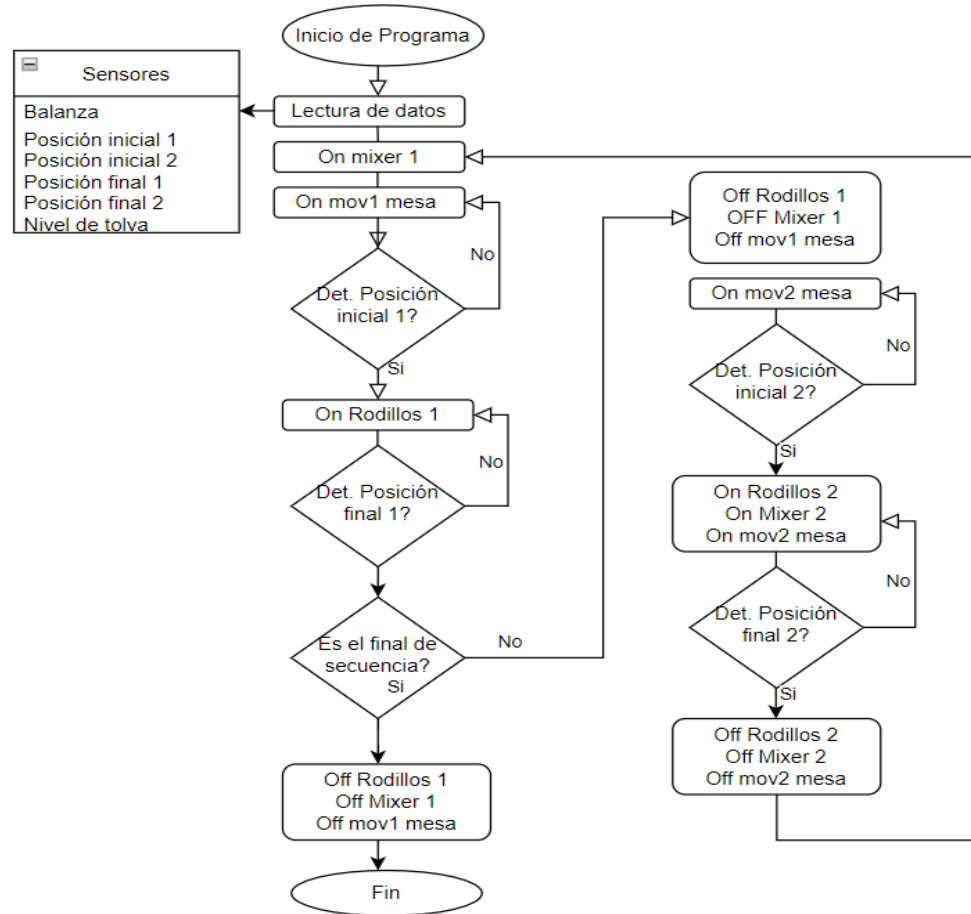
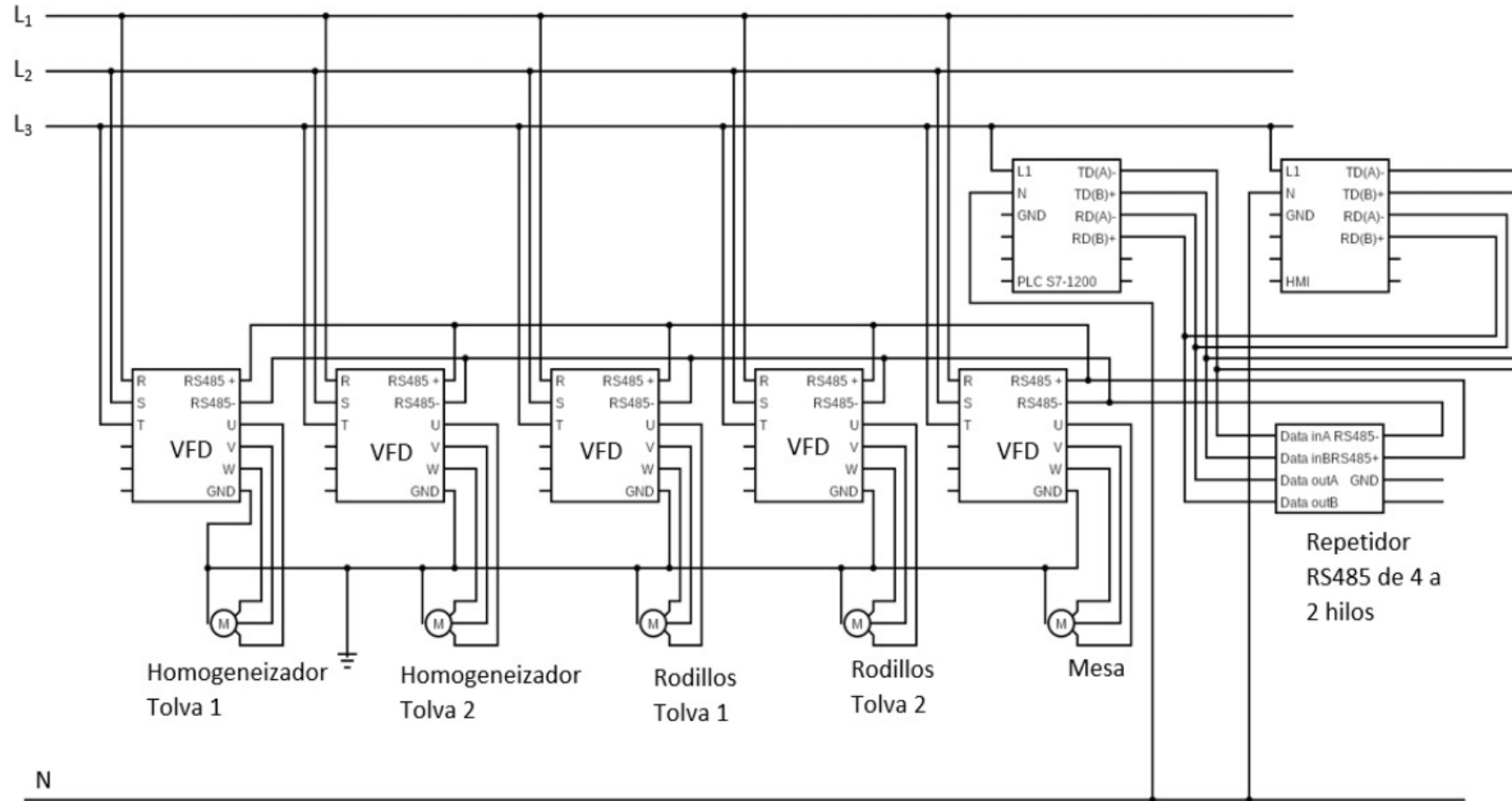


Diagrama eléctrico y de comunicaciones



Construcción, Pruebas y Resultados



Proceso de construcción



Construcción, Pruebas y Resultados



SNAP 7 TIA PORTAL

NODE RED

UBIDOTS

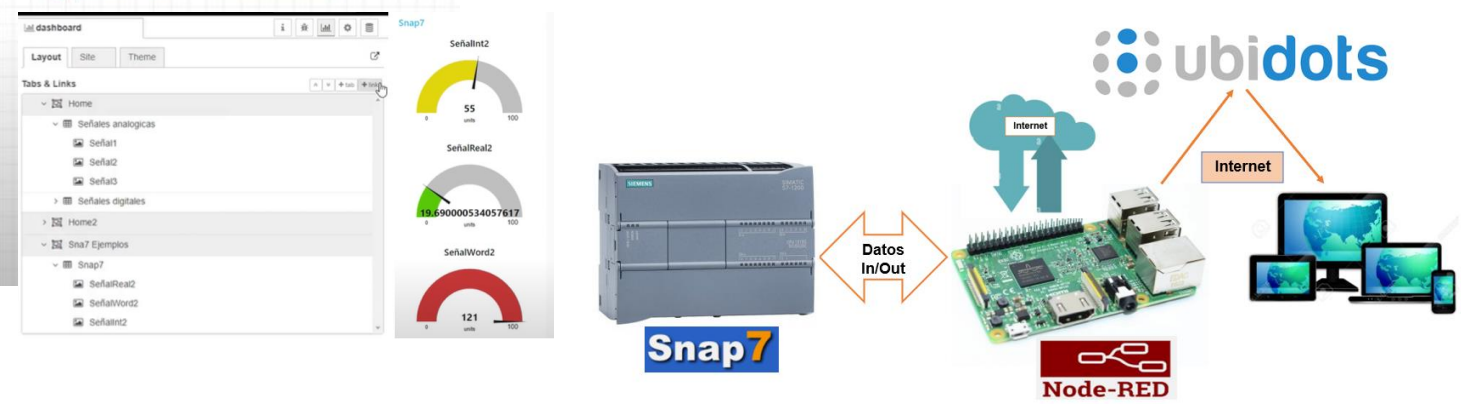
Nombre	Dirección	Formato visualiza...
"Datos".DatosInt[0]	%DB1.DBW0	DEC+/-
"Datos".DatosInt[1]	%DB1.DBW2	DEC+/-
"Datos".DatosInt[2]	%DB1.DBW4	DEC+/-
"Datos".DatosInt[3]	%DB1.DBW6	DEC+/-
"Datos".DatosReal[0]	%DB1.DBD8	Número en coma...
"Datos".DatosReal[1]	%DB1.DBD12	Número en coma...
"Datos".DatosReal[2]	%DB1.DBD16	Número en coma...
"Datos".DatosReal[3]	%DB1.DBD20	Número en coma...
"Datos".DatosWord[0]	%DB1.DBW24	Hex
"Datos".DatosWord[1]	%DB1.DBW26	Hex
"Datos".DatosWord[2]	%DB1.DBW28	Hex
"Datos".DatosWord[3]	%DB1.DBW30	Hex
"Datos".DatosBool1	%DB1.DBX32.0	BOOL
"Datos".DatosBool2	%DB1.DBX32.1	BOOL
	<Agregar>	

Node-RED interface showing a flow with the following nodes:

- inject (value: 125)
- msg payload
- status (value: 0)
- inject (value: 0)
- msg payload
- status (value: 11.539999961853027)
- inject (value: 0)
- msg payload
- status (value: 0)
- inject (value: 0)
- msg payload
- status (value: 0)
- inject (value: 0)
- msg payload
- status (value: 0)

Ubidots dashboard showing data points for a 'dosificadora' device:

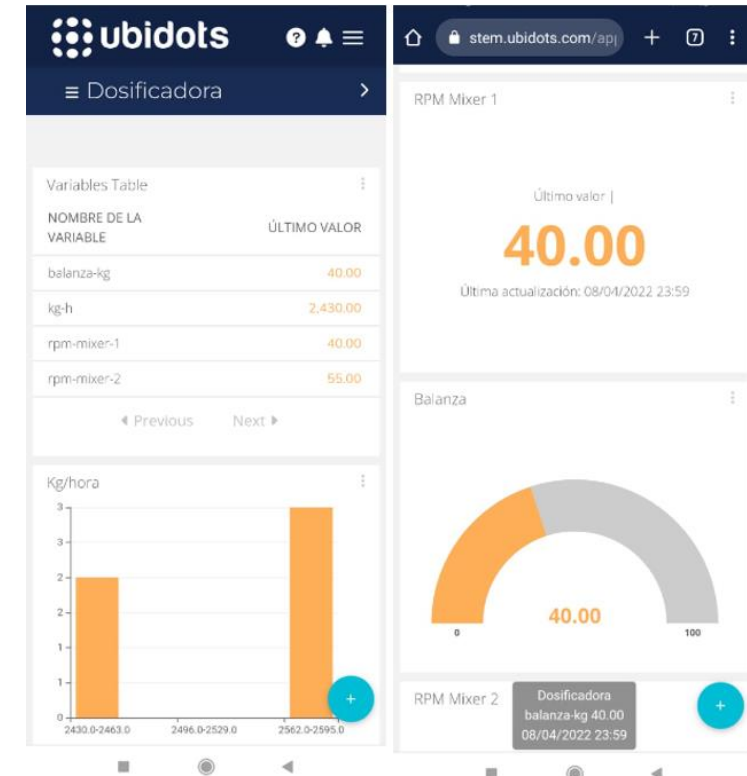
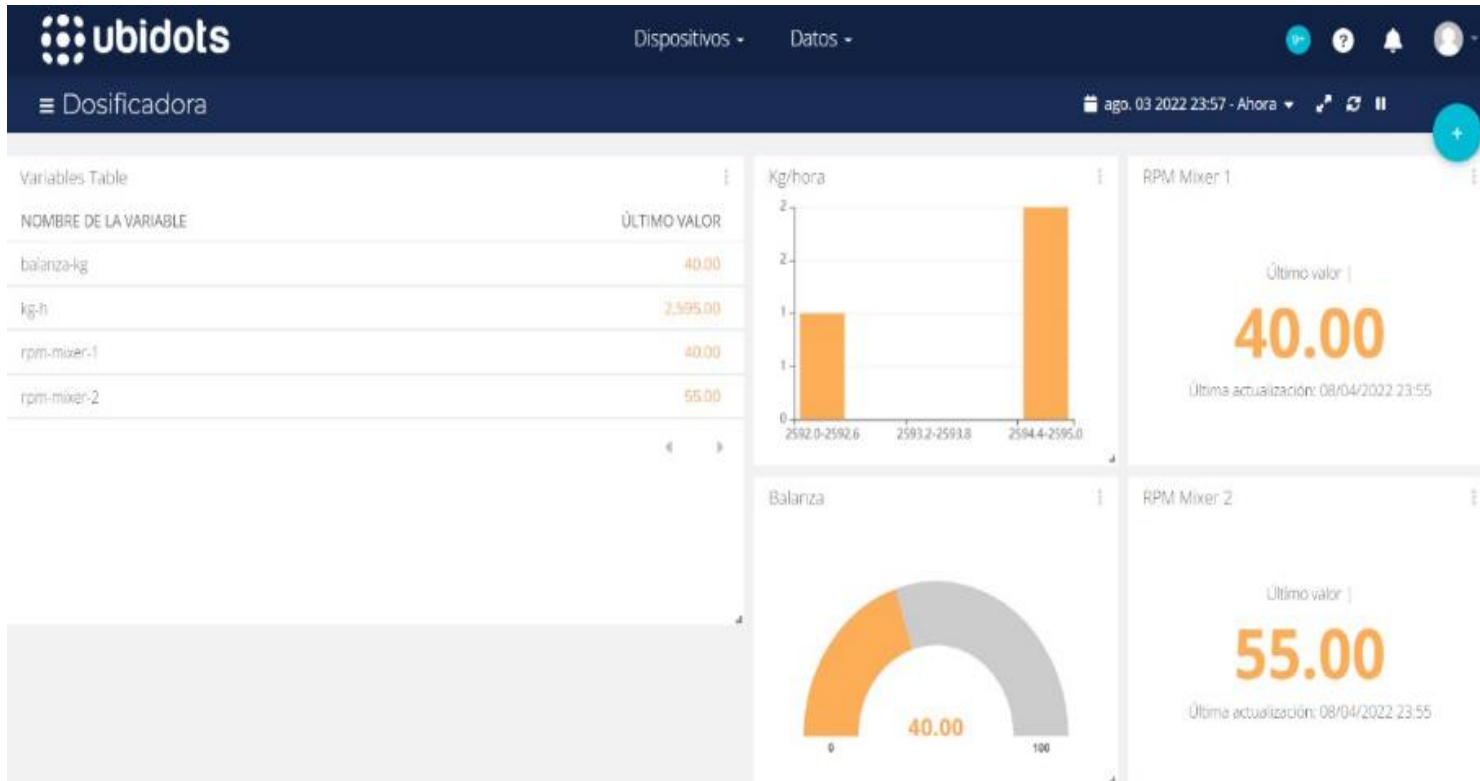
- 40.00 balancea-kg (Ultima actividad: a few seconds ago)
- 2,430.00 kg/h (Ultima actividad: a few seconds ago)
- 40.00 rpm-mixer-1 (Ultima actividad: a few seconds ago)
- 55.00 rpm-mixer-2 (Ultima actividad: a few seconds ago)



Construcción, Pruebas y Resultados



Interfaz en UBIDOTS



Adquisición de datos de dosificadora manual y máquina

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





Test de Normalidad de Shapiro Wilk a Dosificado manual

	Xi	(Xi-MED)^2	ai	Xi INV	Dif(Xi-Xi INV)
MANUAL	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
	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	
	1285,71	560,00856		1241,38	
	1285,71	560,00856		1227,27	
	1285,71	560,00856		1227,27	
	1301,20	1533,0749		1213,48	
		9122,9087	-92,159745		
	Suma		Suma producto		

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

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

- ❖ $\alpha = 0.05$
- ❖ $n = 20,$
- ❖ $SW_f = 0.905$ Datos de tabla tomados de (Ramirez, 1993);
- ❖ $SW_c = 0.931.$
- ❖ $SW_c > SW_f$ $0.931 > 0.905$
- ❖ Se determina que la distribución es normal en el dosificado manual



Test de Normalidad de Shapiro Wilk a Dosificado por máquina

	Xi	(Xi-MED)^2	ai	Xi INV	Dif(Xi-Xi INV)
MAQUINA	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		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			

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

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

- ❖ $\alpha = 0.05$
- ❖ $n = 20$
- ❖ $SW_f = 0.905$ Datos de tabla tomados(Ramirez, 1993);
- ❖ $SW_c = 0.914$
- ❖ $SW_c > SW_f$ $0.914 > 0.905$
- ❖ Se determina que la distribución es normal, para las muestras obtenidas del dosificado por máquina.

Validación de 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?

H_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

H_1 : El diseño, construcción e implementación del sistema mecatrónico de dosificación y enrasado empleando IOT, disminuirá el tiempo de producción de tableros y cubiertas



Test T de Student (Para muestras relacionadas)

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	-1315,2185
VARIANZA	480,153	52374,7643	

Con significancia de $\alpha = 0.05$, de forma unilateral hacia la

$$\begin{array}{ll}
 H_0: \mu_d = 0 & H_0: \mu_d \leq 0 \\
 H_1: \mu_d \neq 0 & H_1: \mu_d > 0
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 H_0: \mu_d \geq 0 \\
 H_1: \mu_d < 0
 \end{array}$$

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

Donde:

t : Estadístico t calculado

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:

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

$$t > t_{(1-\alpha), (n-1)} \text{ (Unilateral derecha)}$$

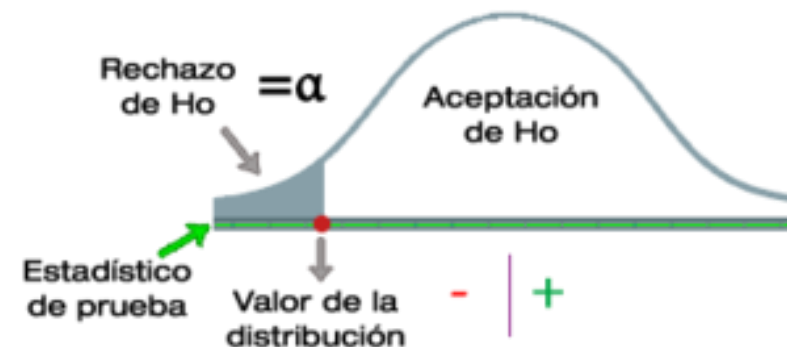
$$t < t_{(\alpha), (n-1)} \text{ (Unilateral izquierda)}$$

Test T de Student (Para 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	

Ya que el **Valor Estadístico t** es mucho menor que el **Valor crítico**, se rechaza la hipótesis nula.

- Se acepta que el diseño, construcción e implementación del sistema mecatrónico de dosificación y enrasado empleando IOT, disminuirá el tiempo de producción de tableros y cubiertas.



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

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

$$\diamond -25.78 < 1.72$$

Comparativa

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:

Máquina = 2577.264 Kg → 60 minutos

Manual = 1262.046 Kg → X minutos en máquina

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

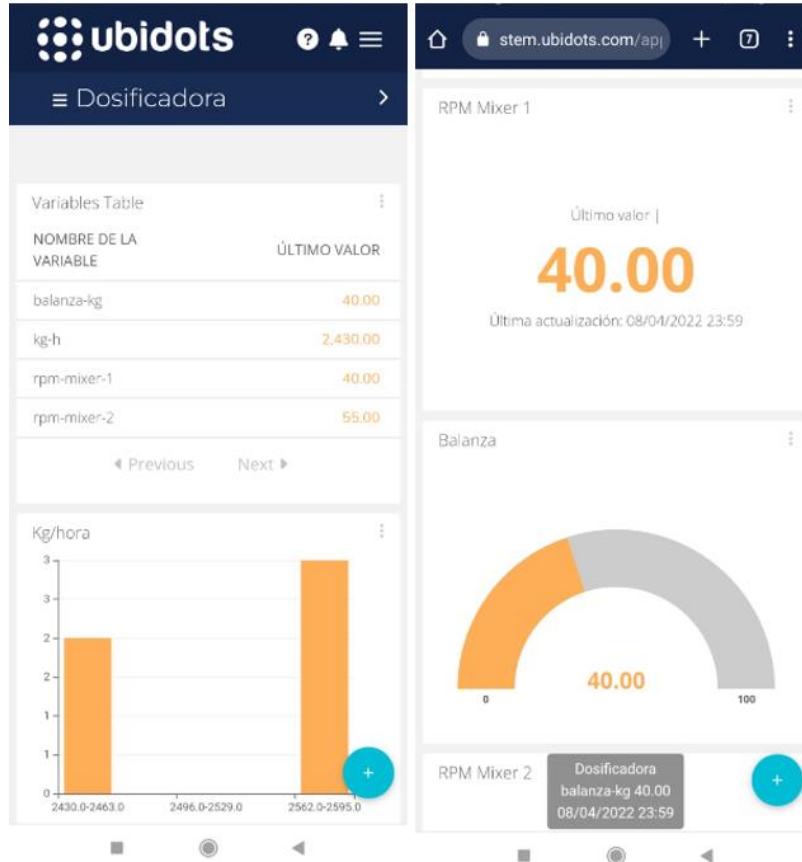
$$X = \frac{1262.046 \text{ Kg} \times 60 \text{ minutos}}{2577.264 \text{ Kg}}$$

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



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

Pruebas de conexión con Ubidots



Al ingresar desde un celular al link **ubidots.com** 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.





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.



Conclusiones

- 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.



Conclusiones

- 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.



Conclusiones

- 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.



Recomendaciones

- 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.



GRACIAS