



Resumen Ejecutivo

Página oficial: www.ing.una.py

Diseño e Implementación de un Banco de Pruebas Aplicando Automatización en la Distribución de Alimentos Porcinos para el Laboratorio de Automatización y Robótica.

Enmanuel Capdevila Castro^a, Christian Rodolfo Gómez Nuñez^a, Ing. Francisco González, MSc.^b, Ing. Óscar Chávez^b

^aAlumno. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

^bTutor. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

PALABRAS CLAVE

Bancada
Automatización
Tornillo Sinfín
PLC
Alimentación Porcina
Engorde Intensivo

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es el diseño e implementación de un banco de pruebas aplicando automatización en la distribución de alimentos porcinos, con la finalidad de que los estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la UNA puedan realizar prácticas a un nivel industrial.

El sector de producción porcina ha crecido de forma considerable, es por esto que para el sistema de transporte de balanceado se desarrolla el diseño e implementación de un tornillo sinfín sin eje, flexible, pudiendo transportar tramos largos. Para cumplir con la necesidad del control del alimento en la producción porcina se realiza la automatización del sistema de transporte de balanceado utilizando módulos PLC, sensores, actuadores y un variador de frecuencia como también un HMI para interactuar con el operador por medio de una interfaz que le permita configurar el funcionamiento del sistema.

Se realizaron las mediciones del caudal de la implementación obteniendo valores promedios de 9.526 kg/min, 15.502 kg/min y 27.062 para frecuencias de trabajo del motor de 20, 30 y 50 Hz respectivamente. Se elaboró un manual de mantenimiento y una guía de actividades para desarrollar prácticas con dicha bancada, donde se desarrollaron pruebas experimentales con varios estudiantes del último semestre, obteniéndose resultados existosos.

KEYWORDS

Bench
Automation
Auger Conveyor
PLC
Swine Feeding
Intensive Fattening

ABSTRACT

The objective of this work is the design and implementation of a test bench applying automation in the distribution of pork feed, with the purpose of allowing students from the Faculty of Engineering at UNA to practice at an industrial level.

The pork production sector has grown considerably, which is why the design and implementation of a flexible screw conveyor without shaft capable of transporting long sections has been developed for the feed transport system. To meet the need for food control in pork production, the automation of the feed transport system was carried out using PLC modules, sensors, actuators, and a frequency inverter, as well as an HMI to interact with the operator through an interface that allows them to configure the system's operation.

Measurements of the flow rate of the implementation were taken, obtaining average values of 9.526 kg/min, 15.502 kg/min, and 27.062 kg/min for motor operating frequencies of 20 Hz, 30 Hz, and 50 Hz, respectively. A maintenance manual and an activity guide were developed for practical exercises using the test bench, where experimental tests were carried out with several students from the last semester, obtaining successful results.

1. Introducción

Este trabajo está motivado por una necesidad del ámbito educacional y laboral de poder desarrollar prácticas en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción, de tal forma que los conceptos adquiridos a lo largo del semestre puedan ser aplicados en un ámbito profesional, que el alumno tenga la capacidad y la confianza de resolver los problemas del campo laboral, como un profesional que tiene desarrollado un carácter experimentado en el área. En este trabajo presentamos el diseño

y la implementación de una bancada de pruebas aplicando automatización en el rubro de engorde intensivo de cerdos. El sector porcino viene creciendo tanto en cantidad como en calidad, lo cual está influenciado en factores como la mejora de los nutrientes de los alimentos que consumen y en la innovación de la industria de producción porcina. Es importante resaltar que en la producción porcina existen tres sistemas: sistema extensivo, sistema semi - intensivo y el sistema intensivo [1]. El sistema a optar es el intensivo de confinamiento total.

1.1. Objetivos

1.1.1. General

- Realizar el diseño y la implementación de un banco de pruebas aplicando la automatización industrial en la distribución de alimentos porcinos para el Laboratorio de Automatización y Robótica a fin de que los estudiantes realicen prácticas de laboratorio a nivel industrial.

1.1.2. Específicos

- Diseñar e implementar un sistema de transporte de alimentos porcinos.
- Desarrollar la automatización del sistema mencionado anteriormente.
- Implementar el proceso automático mediante controladores lógicos programables (PLC), motores, sensores y actuadores.
- Realizar dicho sistema industrial como una bancada de pruebas a ser utilizadas por los estudiantes de la facultad de Ingeniería en experiencias del Laboratorio de Automatización y Robótica.

2. Marco Teórico

2.1. Sistemas de producción porcina

2.1.1. Sistema de cría para subsistencia

Este sistema desde el punto de vista de la producción no representa una rentabilidad económica, se da a nivel de minifundio, y consiste en la cría de un rebaño pequeño. La alimentación se basa en los desperdicios domésticos, pastoreos libre y restos de cosechas.

Se estiman que estos animales en un año alcanzan de 50 a 60 kg y tardan hasta dos años en alcanzar los 120 kg. y los animales se suelen faenar para consumo familiar en pocos casos para la venta.

2.1.2. Sistema extensivo

Sistema que ha sido adoptado por los pequeños productores, donde las construcciones son rudimentarias, hay poca inversión de capital y no hay ninguna asistencia técnica, además está basada en alimentación con desperdicios, pasturas, subproductos agrícolas o agroindustriales que lo vuelve estacional por la disponibilidad de las mismas. La forma de manejo de la explotación es bastante insegura y el peso promedio del porcino es de 25 a 40 Kg, es comercializado en las ferias más cercanas y desde ahí es llevado al matadero.

2.1.3. Sistema Mixto

Llamado también semi-intensivo, la producción se realiza a campo en todas las etapas, o bien, con algún grado de confinamiento en alguna de ellas. Se requiere cierta inversión y regularmente asistencia técnica. La característica dominante del sistema es el acceso al pastoreo, lo cual puede ser negativo para el animal debido a un gasto excesivo de energía por la búsqueda de alimento a campo abierto pero también se emplea alimento concentrado y sub productos agrícolas.

2.1.4. Sistema intensivo

Este sistema es un nivel industrial, es un tipo de explotación en donde se hace empleo de sistemas más avanzadas, las dietas son balanceadas con raciones concentradas, su tipo de producción está definido, desde el punto de vista sanitario tienen asistencia técnica, existe presencia de instalaciones costosas que implica una alta inversión de capital y las prácticas son adecuada. Este tipo de explotación por lo general va dirigido al proceso para productos embutidos industrializados o a los canales de las grandes ciudades.

Es una forma de explotación altamente tecnificada dirigida a situar los animales en condiciones que permiten obtener altos rendimientos productivos en el menor tiempo.

• Sistema intensivo en confinamiento

Este método puede describirse como el grupo de prácticas e instalaciones que tienen como finalidad utilizar el menor área posible en la producción de cerdos, en un sistema de confinamiento total

• Sistema pastoril de crianza intensiva

Combina el uso intensivo de los pastizales (recursos naturales disponibles) como reductor del costo de alimentación en las madres, con la crianza eficiente de los lechones.

2.2. Tipos de alimentos

La alimentación representa alrededor del 65 % de los costes de producción, debido a la optimización en el uso de los recursos alimenticios se establece como una prioridad. La adecuada elección de una fuente alimenticia ayuda a controlar el coste del alimento y produce un efecto favorable en la salud y variables productivas de los cerdos. Algunos de los alimentos mas utilizados en la producción porcina:

- Alimentación con residuos agrícolas y de cocina
- Uso de pasturas como alimento para cerdos
- Suero fresco de queso
- Caña de azúcar
- Alimento balanceado

2.3. Engorde intensivo de cerdos

Si se suministra raciones insuficientes o excesivas se producen trastornos en la reproducción, como por ejemplo, el ganado debe estar en buen estado de carne, pero sin un exceso en grasa.

2.3.1. Alimentación a base de pienso.

La alimentación a base de piensos concentrados (ver figura 1) adopta tres modalidades distintas :

- Suministro de pienso completo tal como viene de la fábrica de piensos, sin mezclarlo con otro tipo de alimento.
- Mezcla de cereales con pienso complementario; este pienso complementario, de gran concentración proteica, suministra las proteínas, minerales y vitaminas que los cereales no tienen, o tienen en proporción insuficiente para cubrir las necesidades del ganado.
- Preparación del pienso concentrado en la propia explotación.



Fig. 1: Pienso o pellets para cerdo. **Fuente:**[8]

Es importante mencionar que existe el pienso en forma de harina, los resultados obtenidos con respecto al granulado es sensiblemente igual con el inconveniente de que al ser finamente molida irrita las mucosas de las vías respiratorias y produce una tos seca.

2.3.2. Etapas de engorde

Los siguientes puntos a mencionar son los distintos tipos de procesos de alimentación que se tiene en un sistema de engorde intensivo (ver figura 2), que van relacionado al peso vivo del animal.

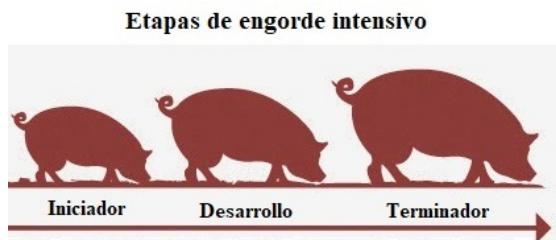


Fig. 2: Etapas de engorde intensivo. **Fuente:** Elaboración propia

Los siguientes datos fueron proporcionados por la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional de Asunción.

- Porcino Iniciador:** Suministrar de 3 a 5 % de su peso vivo, de 0,5 a 1,5 kg por animal/día desde los 10 kg. hasta 25 kg. en etapa inicial, agua fresca de 2 a 4 litros por cada kg. de ración.
- Cerdos Desarrollo:** Suministrar a razón de 3 a 5 % de su peso vivo, de 1,5 a 2,5 kg del producto animal/día desde los 25 kg. hasta 50 kg. en etapa de desarrollo, con abundante agua fresca a razón de 2 a 4 litros por cada kg. de ración.
- Porcino Terminador:** Suministrar de 2,5 a 3,2 % de su peso vivo, de 2,5 a 3,2 kg por animal/día desde los 50 kg. hasta 120 kg. en etapa terminación, con agua fresca de 2 a 4 litros por cada kg. de ración.

TABLA 1: Ración diaria de concentrado por edad para el cerdo.

Ración diaria de concentrado por edad para el cerdo.		
Etapas (días)	Peso vivo (Kg.)	Ración diaria (Kg./animal)
60	Hasta 25	0,5 a 1,5
120	25 - 50	1,5 a 2,5
180	50 - 120	2,5 a 3

Fuente: Alimentación y sanidad de aves y cerdos[1]

2.4. Tipos de transportadores de materiales

Los tipos de transportes de materiales, tornillos helicoidales o tornillos sinfín, se utilizan para el transporte de materiales en las industrias o para diferentes aplicaciones. Los cuales son: tornillo sinfín con eje; tornillo sinfín sin eje, rígido y tornillo sinfín sin eje, flexible.

2.4.1. Tornillo sinfín con eje

Son equipos industriales utilizados para transportar cantidades a granel de sólidos granulares (polvo, pellets, granos, gránulos), semisólidos y líquidos.



Fig. 3: Tornillo transportador helicoidal con eje. **Fuente:** [4].

Componentes de un tornillo sinfín con eje.

Se muestran algunos componentes principales de los transportadores helicoidales que son: el grupo motriz, carcasa o artesa, bocas de entradas y salidas y el tornillo transportador (ver figura 4).

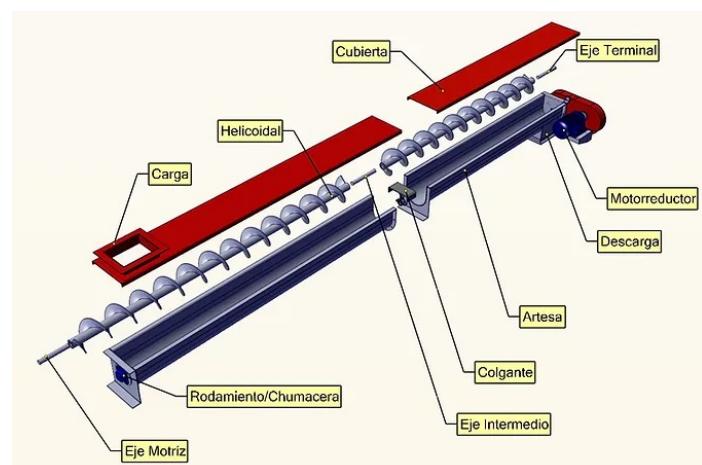


Fig. 4: Componentes de un tornillo helicoidal. **Fuente:** [11].

Sentido de giro de los transportadores

Un transportador puede ser derecho o izquierdo. En la figura de la izquierda (fig. 5) si la hélice está enrollada al tubo en el sentido contrario a las manecillas del reloj o hacia la izquierda, se denomina mano izquierda. En la figura de la derecha (fig. 5), si la hélice está enrollada al tubo en el sentido de las manecillas del reloj, o hacia la derecha, se denomina mano derecha.

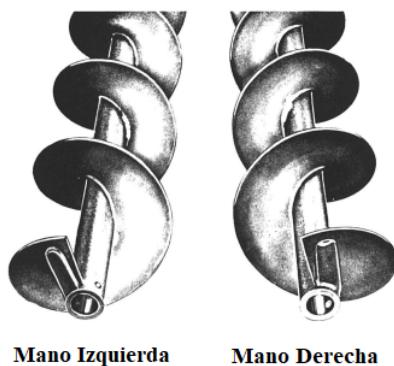


Fig. 5: Sentido de giro de los transportadores. **Fuente:** [16].

2.4.2. Tornillo sinfín sin eje, rígido

Los transportadores helicoidales sin eje se utilizan con éxito en muchas de las industrias para el manejo y transporte de materiales como sólidos de forma irregular, materiales semilíquidos y pegajosos. Algunas de las aplicaciones son: depuradoras municipales, sinfín de fangos, barro blando y viscoso, clasificadores de arena, fábricas de cerveza, procesamiento de alimentos y químicos, etc.

Componentes del helicoidal sinfín sin eje rígido

El grupo motriz, la artesa, las bocas de carga y descarga se mantienen respecto a un tornillo con eje, pero el tornillo al no contar con dicho eje central, se eliminan los rodamientos internos y los bujes colgantes, eso disminuye los atascos dentro del canal así como el mantenimiento e incrementa la eficiencia de transporte. (Fig. 6).

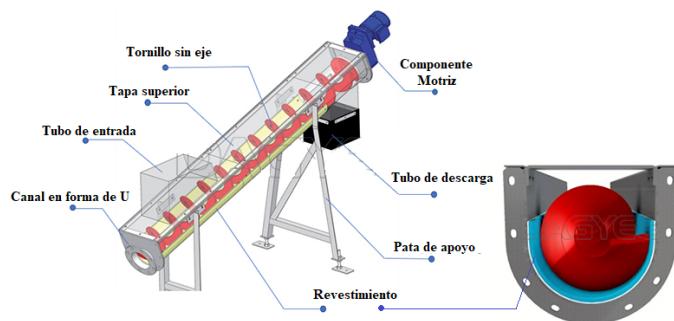


Fig. 6: Componentes de transportador sinfín sin eje. **Fuente:** [3].

Sentido de giro de los helicoidales

Un sinfín puede ser de sentido derecho o izquierdo, además cumplir la función de estar empujando o estirando. Un sinfín empujando transporta el material desde la parte motriz hacia otro extremo y un sinfín estirando transporta el material desde un extremo hacia la parte motriz. (Fig. 7).

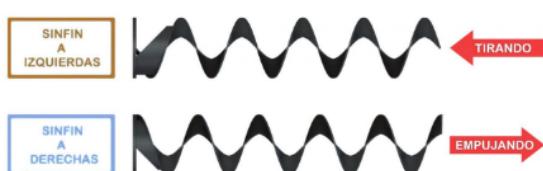


Fig. 7: Sentidos de giro para un sinfín sin eje. **Fuente:** [18].

2.4.3. Tornillo sinfín sin eje, flexible

A continuación, se detallan acerca del tercer tipo de tornillo que se verán en este capítulo.

Funcionamiento

Consiste en una espiral flexible hecha en acero de muelle o inoxidable encerrada en un tubo de plástico, rígido o flexible, o un tubo rígido de acero, que se acopla a un motor eléctrico. Son sencillos pero confiables, proporciona un trabajo eficaz y alta fiabilidad, reduciendo a la vez mantenimiento y los gastos de operación. (Fig. 8).



Fig. 8: Tornillo sinfín sin eje flexible. **Fuente:** [12].

Componentes de un tornillo sinfín flexible

Es uno de los transportadores más utilizados, esto es porque el tornillo flexible es la única parte del transportador que se mueve. Los otros componentes principales son la carcasa tubular y el motor eléctrico.(Fig. 9).



Fig. 9: Componentes de un tornillo sinfín flexible. **Fuente:** [17].

Clasificación del tornillo sinfín flexible

Existen varios diseños de tornillo sinfín flexible (Fig. 10).



Fig. 10: Clasificación de un tornillo sinfín flexible. **Fuente:** [13].

Se debe seleccionar el tipo de tornillo que mejor se adapte al material que necesita transportar. Éstas pueden ser:

- Perfil plano: Polvos, materiales livianos; fuerza direccional positiva; velocidades de avances altas.
- Biselado o cuadrangular: Material frágil o difícil de manejar con un daño mínimo del producto.
- Redondo: Materiales pesados o abrasivos; alto deslizamiento y fuerzas externas fuertes.

Extensiones de longitud por tramos

- Extensión de longitud de tornillo sinfín.

Mediante soldaduras: Las soldaduras no deben realizarse nunca en las elevaciones, codos y/o curvas, hacerlo con bronce y por dentro del sinfín (sobre el diámetro interno). La soldadura por fuera del sinfín, puede dañar las paredes del tubo interior. (Fig. 11).

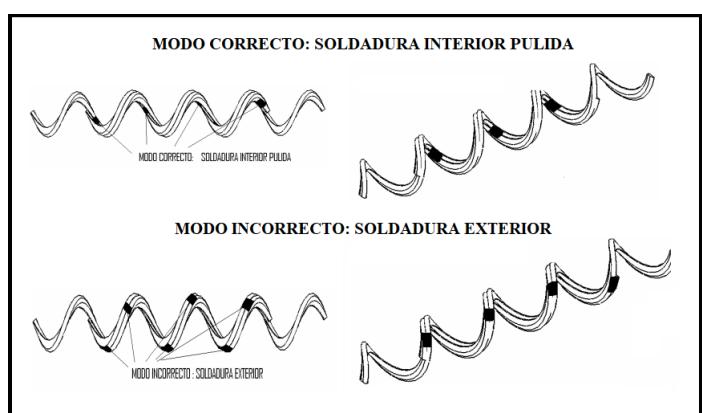


Fig. 11: Soldaduras en un tornillo sinfín flexible. Fuente: [19].

- Extensión de longitud de tuberías flexibles.

Se puede extender la longitud de las tuberías del transportador sinfín flexible, para un mayor alcance se recomienda colocar otro tramo, cada uno como si fuera una instalación individual, de esa manera se extiende a grandes longitudes. (Fig. 12).

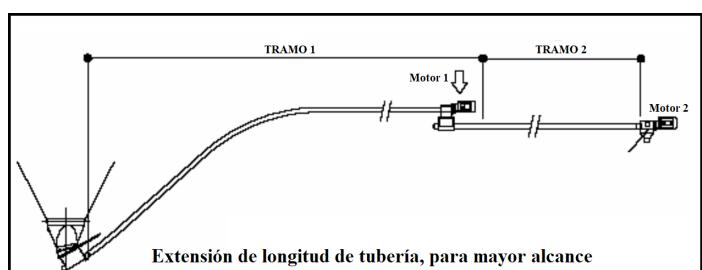


Fig. 12: Extensión de longitud de tuberías flexibles. Fuente: [19].

Aplicaciones

Son instalados en muchas industrias, para la producción de alimentos, químicos, industrias de plásticos y gomas, productos farmacéuticos, minerales y cerámica, tratamiento de aguas, industrias cementeras. (Fig. 13)



(a) Producción de alimentos.



(b) Industrias de plásticos

Fig. 13: Aplicaciones del tornillo sinfín flexible. Fuente: [20].

2.5. Tornillo sinfín con eje Vs. Tornillo sinfín sin eje, rígido.

Aquí se muestran algunas diferencias entre un transportador helicoidal con eje y un transportador helicoidal sin eje, en la siguiente tabla (2).

TABLA 2: Tabla comparativa entre los sinfines con eje y sinfines sin eje.

Sinfín con eje	Sinfín sin eje, rígido
Longitud máxima 50m	Longitud máxima 90m
No adecuados para materiales fibrosos o pastosos.	Adecuados para materiales viscosos, pegajosos, húmedos y grumosos.
Usan cojinetes (bujes) de suspensión cada 3 m.	No necesitan de cojinetes de suspensión
No necesita un revestimiento en la parte interna del canal o artesa, resulta en menos mantenimiento.	Necesita un revestimiento y reemplazarlo en algún momento ya que es un componente que se desgasta con el tiempo
Mayores rpm, no hay preocupación por el desgaste del revestimiento inferior de la artesa.	Menos rpm's, debido a que tiene un revestimiento y puede haber desgaste.
Tasa de llenado de artesa menor	Tasa de llenado de artesa más alta
Cuenta con eje central, soportes, pueden sufrir atascamientos y transporta menor material por el espacio ocupado por el eje central	Transporta el material libremente porque no tiene tubo-eje interior, ni soportes, sin pegarse o envolviendo al eje.
Bujes de suspensión pueden obstruir el flujo de material	No tienen bujes de suspensión, el flujo de material fluye libremente
Mayor ruido	Menor ruido con el revestimiento de polietileno
Cuenta con más accesorios, mayor trabajo para el mantenimiento	Menos accesorios, menor costo de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia.

2.6. Tornillo sinfín sin eje, rígido Vs. Tornillo sinfín sin eje, flexible.

También se observan algunas diferencias entre un transportador helicoidal sin eje rígido y un transportador helicoidal sin eje flexible, en la siguiente tabla (3).

TABLA 3: Tabla comparativa entre los sinfines sin eje rígido y sinfines sin eje flexible.

Sinfín sin eje rígido	Sinfín sin eje, flexible
Longitud máxima de 90 m, con posibilidad de extensión de longitud	Longitud máxima de 90 m, con posibilidad de extensión de longitud
Mayor espesor de la planchuela	Menor espesor de la planchuela
Por su rigidez solo permite el transporte en línea recta	Por su flexibilidad, permite el transporte con trayectorias curvilíneas
Material del tornillo en acero inoxidable o al carbono	Material del tornillo en acero de alto carbono, inoxidable o para muelles
Mayor costo	Menor costo, más económico
Utiliza canaletas o artesas en forma de U, abiertas	Totalmente cerrado para evitar el polvo y el ruido.
Ideal para materiales viscosos, pegajosos, húmedos y grumosos	Ideal para alimentos (gránulos, harinas, pellets y mezclas)
Materiales pesados, mayores diámetros del tornillo	Materiales livianos, menores diámetros del tornillo
Operan a menor rpm's	Operan a mayor rpm's

Fuente: Elaboración propia.

3. Componentes y dimensionamiento de piezas

3.1. Cálculos

En la siguiente sección se proceden a calcular los tres tipos de transportes de alimentos estudiados: sinfín con eje; sinfín sin eje, rígido y sinfín sin eje, flexible.

Planteamiento del problema para los cálculos de dimensionamiento.

Se necesita transportar balanceado peletizado a razón de 1,92 [ton/h], a una distancia de 30 metros. Calcule el diámetro del transportador y la potencia necesaria del motor, tomando como rendimiento mecánico del 80 %.

Se considera una densidad del balanceado peletizado transportado de aproximadamente $\gamma = 0,66 \text{ [ton/m}^3]$ para todos los casos.

3.1.1. Cálculos del tornillo sinfín con eje

Con el problema propuesto se procede a realizar los cálculos, luego de aplicar las fórmulas y tablas correspondientes se obtuvieron los siguientes resultados:

El diámetro del transportador es de $D = 6 \text{ [pulg.]}$.

La velocidad del tornillo en rpm es de $n = 57,37 \text{ [rpm]}$.

La potencia requerida por el eje es $HP = 0,5546 \text{ [hp]}$.

La potencia del motor requerido es de $N = 1,5 \text{ [hp]}$.

3.1.2. Cálculos de tornillo sinfín sin eje rígido

Con el mismo problema propuesto anteriormente y los datos considerados, se procede a realizar los cálculos, luego de aplicar otras fórmulas y tablas correspondientes se obtuvieron los siguientes resultados:

El diámetro del transportador es de $D = 4 \text{ [pulg.]}$.

La velocidad del tornillo en rpm es de $n = 166 \text{ [rpm]}$.

La potencia total para mover el material es $HP = 1,192 \text{ [hp]}$.

La potencia del motor requerido es de $N = 1,5 \text{ [hp]}$.

3.1.3. Cálculos de tornillo sinfín sin eje, flexible

A continuación, se describen las consideraciones a tener en cuenta para seleccionar un tornillo helicoidal sin eje flexible, existen algunos modelos de tornillo sinfín, éstos son modelos estandarizados y normalizados por tablas que a su vez se pueden obtener de los diferentes fabricantes de tornillos helicoidales. En la tabla (4) se muestran los tipos de modelos más utilizados y en la tabla (5) se detallan las especificaciones del tornillo y el tubo que son obtenidos directamente por tablas provistos por los fabricantes.

TABLA 4: Modelos de tornillos sinfín flexibles.

Modelos de tornillos sinfín flexibles				
M	Tasa de entrega	Motor	Longitud	Extensión máxima
55	15 lb/min (7 kg/min.)	1/3 Hp 1/2 Hp	46 m (150 ft) 76 m (250 ft)	56 m (185 ft) 72 m (285 ft)
75	50 lb/min. (22 kg/min.)	1/2 Hp 3/4 Hp 1 Hp	26 m (80 ft) 46 m (150 ft) 61 m (200 ft)	38 m (125 ft) 56 m (185 ft) 75 m (245 ft)
90	100 lb/min. (45 kg/min.)	1/2 Hp 3/4 Hp 1 Hp	9 m (30 ft) 27 m (90 ft) 46 m (150 ft)	20 m (65 ft) 38 m (125 ft) 56 m (185 ft)
HR	50 lb/min. (22 kg/min.)	1/2 Hp 3/4 Hp 1 Hp	9 m (30 ft) 27 m (90 ft) 46 m (150 ft)	17 m (55 ft) 32 m (105 ft) 56 m (25 ft)

Fuente: [14]

TABLA 5: Dimensiones de los de tornillos sinfín flexibles.

Dimensiones de los modelos de tornillos sinfín flexibles		
M	Especificaciones del tornillo	Especificaciones del tubo
55	Di= 22,6 mm (0,89") De= 38,6 mm (1,52") Paso= 32 mm (1,26")	Di= 51,3 mm (2,02") De= 56,1 mm (2,21")
75	Di= 37,3 mm (1,47") De= 61,2 mm (2,41") Paso= 41,4 mm (1,63")	Di= 67,3 mm (2,65") De= 74,9 mm (2,95")
90	Di= 45,47 mm (1,79") De= 69,3 mm (2,73") Paso= 54,1mm (2,13")	Di= 81,79 mm (3,22") De= 88,9 mm (3,50")

Fuente: [14]

Para el problema planteado anteriormente en las sección 3.1, un tornillo adecuado para dicha longitud es el modelo 75, con 26m de longitud, y una extensión máxima de 38m.

3.2. Dimensionamiento del motor

De acuerdo a la tabla anterior (Tabla 4) para el modelo del tornillo sinfín y la longitud requerida aproximadamente, son

apropiados un modelo 75, por tanto, con estas características el motor requerido es de 1/2 hp de potencia.

Según los datos provistos por los fabricantes de tornillos sinfín las potencias del motor están asociadas a las velocidades de giro del motor, para el caso de un motor eléctrico trifásico, con una frecuencia de 50 Hz, con 1/2 hp de potencia, y para el modelo 75, lo recomendable es que dicho motor opere a una velocidad de giro promedio de 364 rpm.

Las características de un motor eléctrico trifásico con la cual se dispone y se desea utilizar en este proyecto son de 1/2 hp de potencia, frecuencia de 50 Hz, 4 polos, baja revolución y cuenta con una velocidad de 1370 rpm. El valor de velocidad supera ampliamente al valor en la cual debe operar el motor, por ello se debe reducir la velocidad, pero sin que se pierda el torque, por lo cual se recurrirá a adaptar un sistema de poleas y eje para reducir su velocidad sin perder el torque.

3.3. Cálculos de sistema de transmisión

Los cálculos para el sistema de transmisión mediante poleas y correas es un método sencillo, simple y más económico que cualquier otro sistema de transmisión.

Poleas y Correas

Los cálculos seguidos aquí para la determinación de polea y correa, se sujetan a procedimientos internacionales normalizados. Aplicando las fórmulas y los datos tabulados se obtienen los siguientes resultados:

Diámetro primitivo de la polea menor = 2,5 [pulg]

Diámetro primitivo de la polea mayor = 9,4 [pulg]

Distancia entre los centros de los ejes = 8,42 [pulg]

Correa recomendada: 1 correa de perfil y tamaño: A-35.

3.4. Cálculo del cilindro neumático

Los valores obtenidos para el dimensionamiento del cilindro neumático se considera un recorrido o carrera de $C = 100$ [mm] y se obtiene el valor del diámetro para el pistón $S \geq 2,18$ [mm].

3.5. Microcilindro Neumático

- Cilindro neumático de doble efecto de la marca MICRO y serie MD8
- Carrera de 100mm
- Diámetro d.20

Número de artículo (número de mercado): [0.045.230.100]



Fig. 14: Micro Cilindro MD8. Fuente:[15]

3.6. Conexiones neumáticas

Se cuenta con un sistema neumático para abrir y cerrar la compuerta de descarga. El plano de conexión se puede visualizar en la imagen (15)

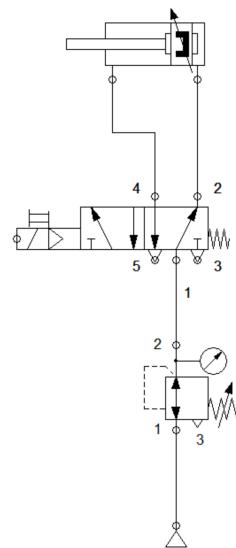


Fig. 15: Plano de conexión neumática. Fuente: Elaboración propia

3.7. Diseño e implementación

En esta sección se detallan todo el proceso de diseño e implementación de la estructura del sistema,

3.7.1. Diseño e implementación de la estructura del sistema

Teniendo las dimensiones del tornillo y la selección de cada uno de los componentes a utilizar, se realizó el diseño utilizando el software solidworks, con el fin de obtener un esquemático, dimensionar el tamaño adecuado, que puedan adaptarse al área del laboratorio.

Fabricación del tornillo sinfín

En las siguientes figuras 16a y 16b, se pueden observar el diseño previamente realizado del tornillo y el tubo flexible.



(a) Diseño.



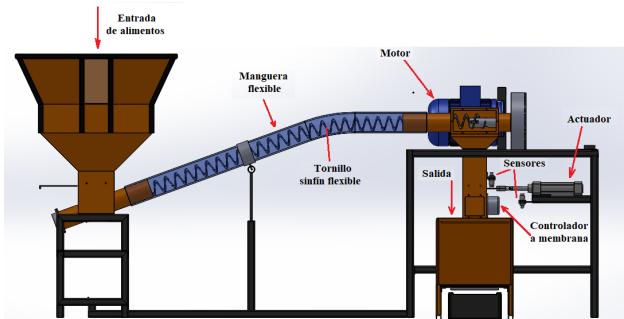
(b) Implementación real.

Fig. 16: Tornillo sinfín y tubo flexible. Fuente: Elaboración propia

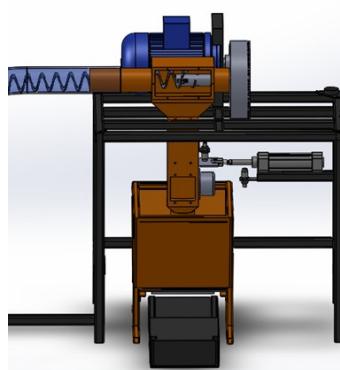
3.8. Estructura mecánica

La estructura del sistema transportador (Fig. 17) se compone de 2 partes principales, una zona de carga y una zona de descarga, unidas mediante la manguera flexible que contiene

el tornillo sinfín flexible, en dicha figura se muestran el diseño previamente realizado y la implementación real.



(a) Diseño.

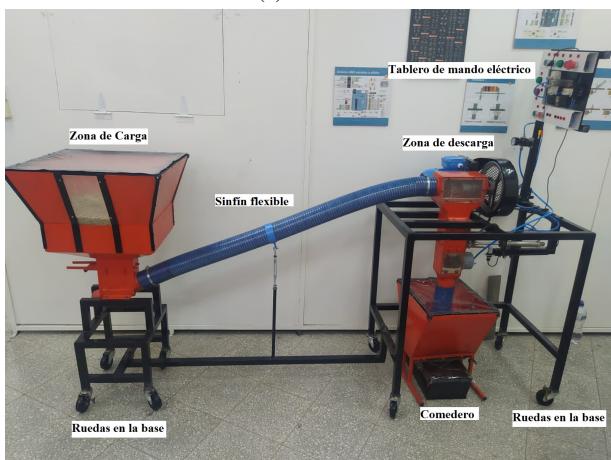


(a) Diseño.



(b) Implementación real.

Fig. 19: Zona de descarga. **Fuente:** Elaboración propia

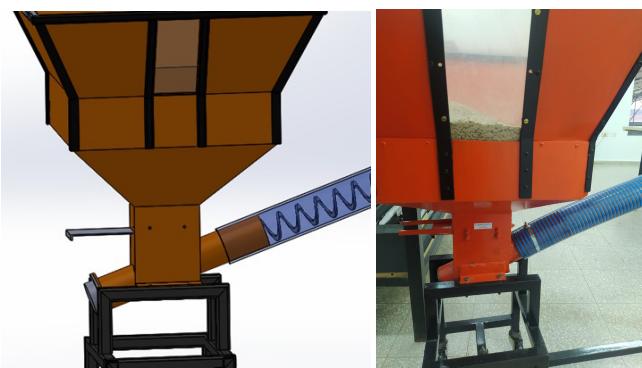


(b) Implementación real.

Fig. 17: Estructura completa del sistema. **Fuente:** Elaboración propia

Zona de carga

Es el lugar donde se deposita el alimento balanceado peletizado a ser transportado, consiste en una tolva y cuenta con una compuerta manual. (Fig. 18).



(a) Diseño.

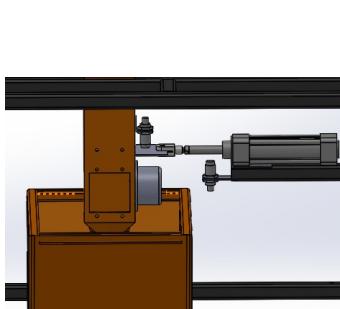
(b) Implementación real.

Fig. 18: Zona de carga, compuerta manual. **Fuente:** Elaboración propia

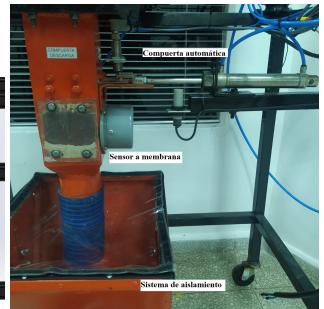
Zona de descarga

Zona en la que se encuentra la mayor parte de la automatización, cuenta con el tablero de mando que incluye toda la parte eléctrica, están los componentes tales como el sensor, el actuador, el motor y el comedero. (Fig. 19).

La compuerta automática que es accionada mediante el cilindro neumático y los sensores asociados a su apertura y cierre. Además, se aprecia el sensor a membrana a detectar el nivel de alimento balanceado como medida de seguridad cuando el comedero llega al máximo nivel. (Fig. 20).



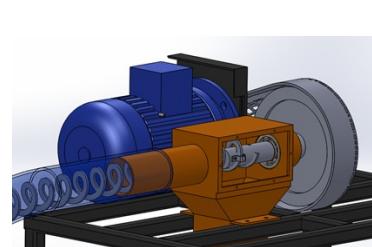
(a) Diseño.



(b) Implementación real.

Fig. 20: Compuerta automática con sistema neumático. **Fuente:** Elaboración propia

El motor está acoplado a un sistema de poleas y una correa, esto es con el fin de reducir la velocidad del tornillo sinfín a una velocidad de rotación deseada. Cuenta con un sistema de protección en una zona peligrosa de constante movimiento. (Fig. 21).



(a) Diseño.



(b) Implementación real.

Fig. 21: Sistema de transmisión mediante poleas y correa. **Fuente:** Elaboración propia

3.9. Resultado del caudal

Para obtener el valor del caudal se realizaron varias mediciones de pesaje para luego calcular el valor promedio.

El equipo de medición que se utilizó (ver figura 22) tiene la capacidad de 0 – 10 [kg]/5 [g] o 10 – 50 [kg]/10 [g]. Es importante mencionar que el equipo de pesaje utilizado no está certificado por algún ente regulador.



Fig. 22: Instrumento utilizado para pesaje de pellets.

Fuente: Elaboración propia

Como el motor está conectado a un variador de frecuencia se hizo la medición con tres frecuencias constantes que sería la de 20, 30 y 50 Hz. donde los resultados obtenidos son de 9,526 [kg/min], 15,502 [kg/min] y 27,062 [kg/min] respectivamente a las frecuencias mencionadas.

3.10. Mantenimiento

Para realizar un mantenimiento, ya sea de limpieza interna o reemplazar alguna pieza dentro de la tubería flexible o en el tornillo sinfín, se recomienda seguir las instrucciones (paso a paso) en el orden indicado para desarmar y volver a armar la máquina en su estado original, esto es, para evitar cometer algún tipo accidente o una mala maniobra que afecte el funcionamiento correcto de la máquina. Se muestra una representación gráfica indicando los puntos principales a tener en cuenta en el orden apropiado en la figura 23.

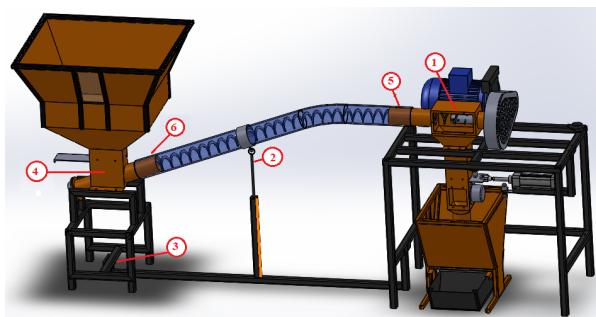


Fig. 23: Representación gráfica de todo el sistema. **Fuente:** Elaboración propia

4. Componentes electrónicos

En este capítulo se detallan los componentes y planos que forman parte del sistema de automatización de engorde intensivo para cerdo.

4.1. Tablero entrenador del LAR

Actualmente la facultad cuenta con un laboratorio llamado LAR (Laboratorio de Automatización y Robótica) que está equipado con seis bancadas entrenador para realizar prácticas de equipos que son utilizados en industrias (fig. 24).



Fig. 24: Tablero entrenador del Laboratorio de Automatización y Robótica de la FIUNA. **Fuente:** Elaboración propia

4.1.1. CPU 1214C DC/DC/DC

Número de artículo: 6ES7214-1AG40-0XB0



Fig. 25: SIEMENS CPU 1214C DC/DC/DC. **Fuente:**[2]

4.1.2. SM 1223

Número de artículo: 6ES7223-1PL32-0XB0



Fig. 26: Módulo de E/S digitales SM 1223. **Fuente:**[9]

4.1.3. HMI KTP600

Número de artículo: 6AV6647-0AD11-3AX0



Fig. 27: SIMATIC HMI KTP600 Basic. **Fuente:**[7]

4.1.4. Variador de frecuencia ENC600

Número de artículo: EN600-4T0015G/0022P



Fig. 28: Variador de Frecuencia ENC600. **Fuente:**[10]

4.2. Tablero bancada de engorde intensivo para cerdo

En los siguientes ítems se detallan los componentes a utilizar para la implementación de la bancada de pruebas y citando las características necesarias requeridas para el buen funcionamiento.

4.2.1. Pulsador

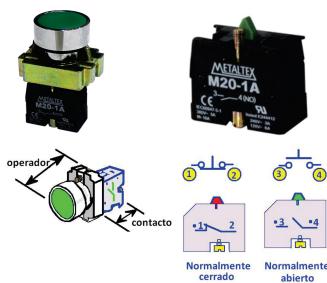


Fig. 29: Pulsador y Contacto. **Fuente:** Fabricación propia

4.2.2. Indicador led



Fig. 30: Indicador led. **Fuente:** Fabricación propia

4.2.3. Sensor Capacitivo



Fig. 31: Sensor capacitivo. **Fuente:** Fabricación propia

4.2.4. Sensor Indutivo

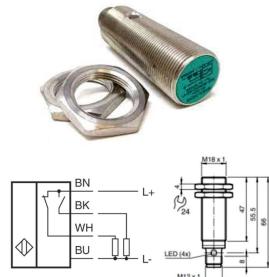


Fig. 32: Sensor inductivo. **Fuente:** Fabricación propia

4.2.5. Relé

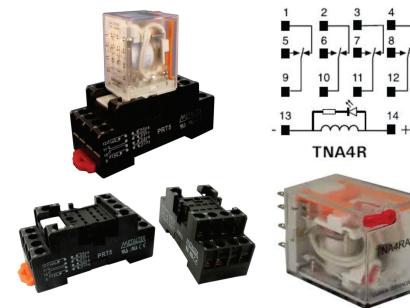


Fig. 33: Zócalo y bobina. **Fuente:** Fabricación propia

4.2.6. Controlador a membrana



Fig. 34: Controlador de sólido FILSA A-100. **Fuente:**[6]

4.2.7. Válvulas direccionales

Número de artículo (número de mercado): [0.220.002.522]



Fig. 35: Electroválvula 5/2 vías. **Fuente:**[5]

4.2.8. Motor trifásico



Fig. 36: Motor trifásico. **Fuente:** Elaboración propia

4.3. Esquema Eléctrico

Una vez seleccionado los componentes se tuvo en cuenta las características de conexión para su funcionamiento y así realizar el esquema eléctrico del sistema.

En la figura 37 se realiza el esquema eléctrico de los componentes que trabajan con tensión de 24 VDC y se especifica los bornes de entradas y salidas que van conectados a los módulos del PLC.

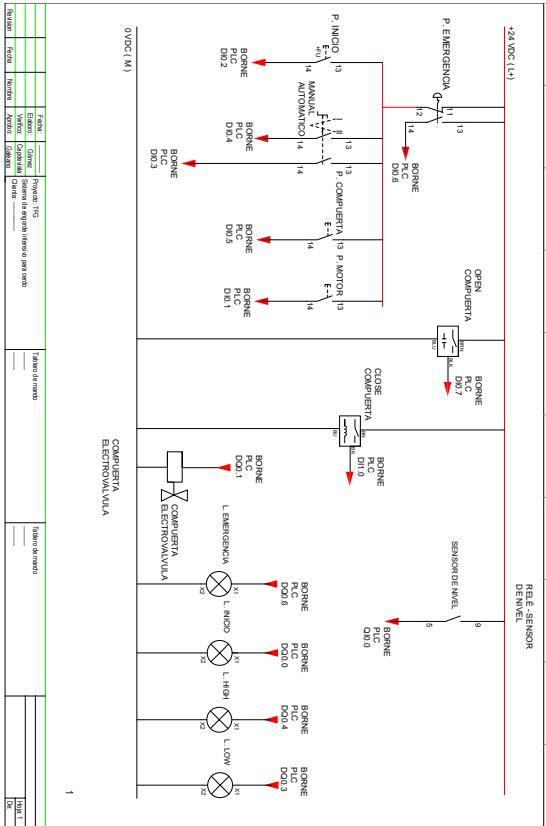


Fig. 37: Esquema de conexión 1. **Fuente:** Elaboración Propia

El esquema eléctrico que se ve en la figura 38 detalla la conexión del sensor de nivel que trabaja con una tensión de 220 VAC y la conexión de la parte de potencia del sistema del proyecto, que involucra el variador de frecuencia, el motor trifásico y se especifica los bornes de conexión a utilizar para interactuar con el módulo PLC.

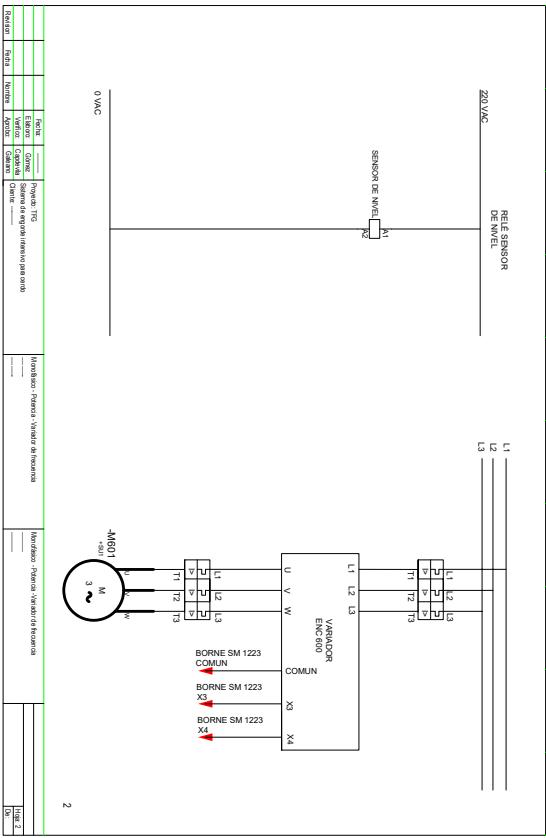


Fig. 38: Esquema de conexión 2. **Fuente:** Elaboración Propia

La dirección de memoria junto con las conexiones de cada uno de los componentes del sistema que van conectado al CPU y al modulo relé SM1223 son especificadas en la figura 39.

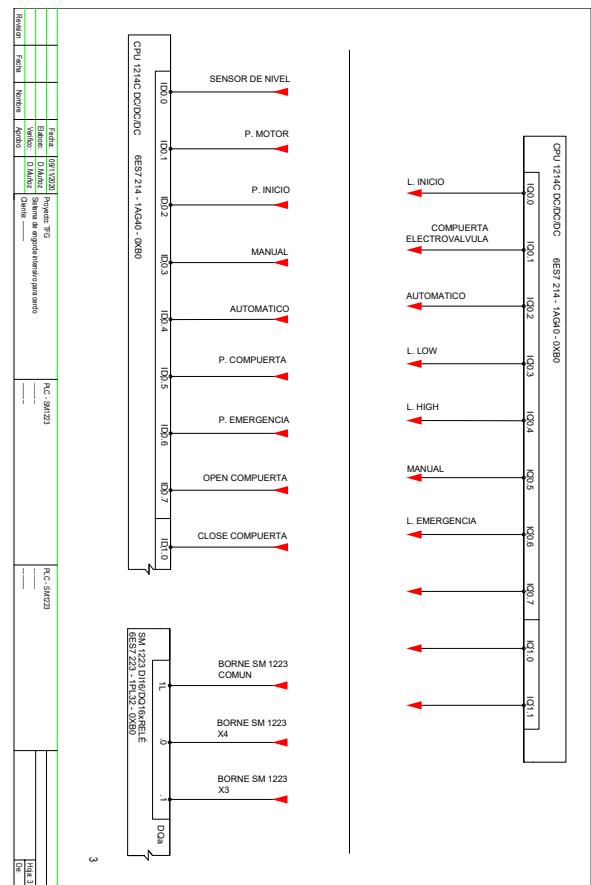


Fig. 39: Esquema de conexión 3. **Fuente:** Elaboración Propia

4.4. Tablero de mando.

En este apartado se puede visualizar el diseño del tablero de mando (fig. 40) y así también el resultado final de la implementación del diseño mencionado (fig. 41).

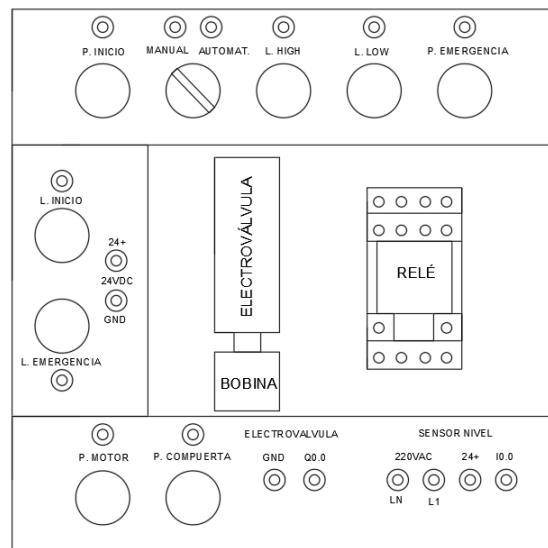


Fig. 40: Esquema del tablero de mando. **Fuente:** Elaboración Propia



Fig. 41: Implementación del tablero de mando. **Fuente:** Elaboración Propia

5. Programa académico tecnificado

El programa académico involucra dos partes importantes de lo que es el área de automatización industrial: las del PLC y de Redes Industriales.

5.1. Guías del estudiante

El programa que se desarrolla en este capítulo es respecto al funcionamiento del sistema de engorde intensivo la cual será explicado los requerimientos a tener en cuenta para el funcionamiento.

• Objetivos

- Conocer la estructura y los componentes de lo que se podría encontrar en la industria. En esta ocasión se tendrá a disposición un banco de pruebas de engorde intensivo de cerdo.
- Adquirir conceptos técnicos para la puesta en marcha de un:
 1. Variador de frecuencia.
 2. PLC
 3. Módulo relé
 4. Sistema de periferia descentralizada ET 200SP
 5. HMI
 6. Electroválvula
 7. Relé de 4 contactos auxiliares 220VAC
 8. Selectores
 9. Pulsadores
 10. Controlador a membrana para el control de nivel
 11. Sensor inductivo
 12. Sensor capacitivo
 13. Cilindro neumático
- Realizar la configuración y puesta en marcha de cada una de las partes que conforma la bancada de prueba.

• Alcance

Esta experiencia está enfocada a realizar prácticas de montaje a nivel industrial y realizar el control del sistema con todos los conceptos que se desarrollaron a lo largo de la carrera. Los conocimientos previos requeridos son:

noción básicas de electricidad industrial, neumática, programación básica en PLC.

La guía cuenta con cinco actividades.

1. Actividad 1 - Entrada y salida digital

La actividad consiste en enviar una señal al CPU presionando un pulsador y por medio de la salida digital del módulo PLC se enciende un led para dar confirmación de que se recibió la señal del pulsador.

2. Actividad 2 – Electroválvula y fin de carrera

Los componentes involucrados en esta actividad son los pulsadores, leds, electroválvula y cilindro neumático para la automatización de la compuerta de descarga, sensores capacitivo e inductivo que actúan como fin de carrera, SIEMENS 1214C DC/DC/DC y un HMI donde se tiene que diseñar la interfaz.

3. Actividad 3 – Variador de Frecuencia (VFD)

El objetivo de esta actividad es conectar y configurar el variador de frecuencia para controlar un motor trifásico lo cual tendrá como efecto girar el tornillo sinfín para transportar el balanceado de un punto a otro.

4. Actividad 4 – Ejercicio de desafío: Producción de engorde intensivo de cerdo

El enunciado de la actividad está estructurado como un ejemplo de relevamiento de datos de una implementación real que se solicita el funcionamiento de un sistema de engorde intensivo para cerdos (bancada de prueba) incluyendo ciertos requisitos que deben cumplir.

5. Actividad 5 – Periferia descentralizada ET200

La actividad consiste en aplicar conceptos de redes industriales utilizando una periferia descentralizada con el módulo ET200SP. Para una implementación del módulo se solicita un sistema que cumpla con las mismas condiciones de lo que se había realizado en la actividad 4.

5.2. Guías del docente

Se realizó el desarrollo de cada una de las actividades de la guía mencionada anteriormente. Con el objetivo de proveer una solución demostrativa para los docentes y alumnos, las soluciones del software se detalla con un diagrama de grafset que se puede visualizar en la figura 43, así también, en la figura 42 se observa una de las interfaces que se implementó para la solución.



Fig. 42: Implementación HMI - Modo automático. **Fuente:** Elaboración propia

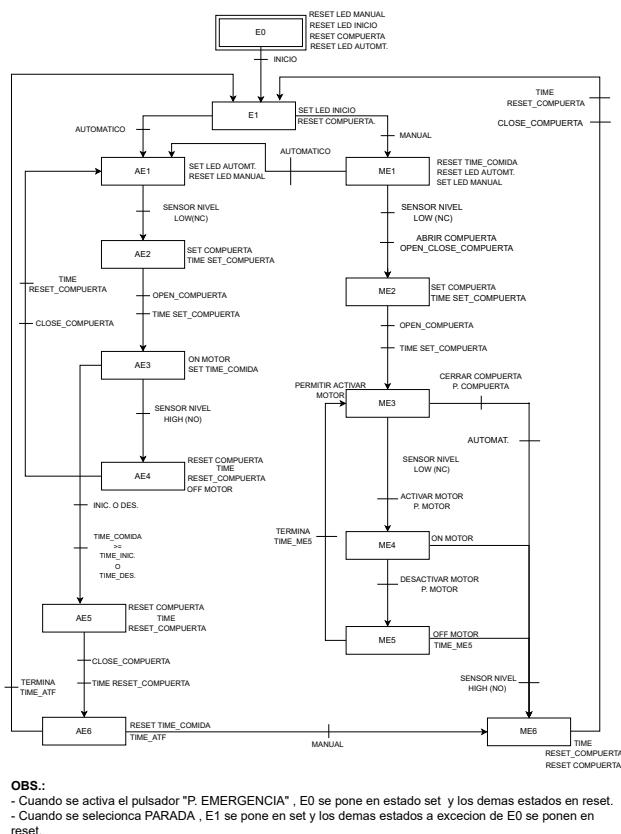


Fig. 43: Diagrama lógico de la actividad 4. **Fuente:** Elaboración propia

6. Conclusiones

La bancada de pruebas, permitirá el desarrollo de prácticas de automatización a nivel industrial.

El diseño e implementación del tornillo sifón flexible es ideal para el transporte de pellets, son aplicables para longitudes extensas.

Se desarrollaron pruebas experimentales en donde se obtuvo un caudal de 27,062 kg/min en la potencia máxima del motor (50 Hz) que se aproximan satisfactoriamente al valor teórico de 22 kg/min.

Se realizó una guía que contiene cinco actividades que estarán disponibles en el laboratorio para realizar prácticas con la bancada de prueba implementada.

Se puso en práctica dichas actividades con alumnos del último semestre de la carrera de Ing. Mecatrónica, en las primeras pruebas se dieron algunos inconvenientes en la comprensión del enunciado, luego de haber corregido se volvió a poner a prueba con otros alumnos teniendo un resultado exitoso.

7. Recomendaciones

Concluido este Trabajo Final de Grado, podemos mencionar algunas recomendaciones para una futura aplicación del proyecto de la bancada de pruebas.

Colocar un sistema de pesaje para tener un control exacto de la cantidad de alimentos que se tiene en los comederos de cada rancho.

Realizar un sistema SCADA junto con la cantidad de días de confinamiento y que estas estén relacionadas a la receta del balanceado.

Controlar el variador de frecuencia por medio del sistema analógico.

La mejora del caudal y la cantidad de producto a transportar se puede realizar con el control de giro del motor.

8. Referencias

- [1] (2005). Alimentación y sanitación de aves y cerdos.
- [2] (2022). IQS Directory - industrial quick search.
- [3] (2022). DAGYEE Empresa de tecnología de diseño, investigación y desarrollo.
- [4] (2022). Direct Industry - Expo Virtual Group.
- [5] (2022). IQS Directory - industrial quick search.
- [6] (2022). IQS Directory - industrial quick search.
- [7] (2022). IQS Directory - industrial quick search.
- [8] (2022). Como almacenar los alimentos para cerdos.
- [9] (2022). IQS Directory - industrial quick search.
- [10] (2022). IQS Directory - industrial quick search.
- [11] (2022). Bega Helicoidales.
- [12] (2022). Big Dutchman Iberica.
- [13] (2022). HAPMAN-Fabricante mundial de equipos de manejo de materiales a granel y sistemas completos de manejo de materiales.
- [14] (2022). HOG SLAT- Mayor contratista de construcción y fabricante de equipos de producción de cerdos en los EEUU.
- [15] (2022). IQS Directory - industrial quick search.
- [16] (2022). Martin Sprocket - Gear - manejo de materiales a granel.
- [17] (2022). MIAL-Fabricante de maquinarias.
- [18] (2022a). Sinfines Factory.
- [19] (2022b). Sinfinesras S.A- Empresa especializada en la producción de tubos y sifones.
- [20] (2022). Spiroflow Systems, Inc.