



Diseño e implementación de un sistema mecatrónico para el mezclado de fertilizantes mediante el control y automatización de procesos que permita la optimización de tiempo y reducción del esfuerzo del personal en la empresa agrícola “Tiagro” de la ciudad de Machachi.

Quinaluisa Cajas, Laydi Manuela y Pérez Villegas, Samuel Alejandro

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Ing. Constante Prócel Patricia Nataly

10 de agosto del 2022

Latacunga

Reporte de verificación de contenido

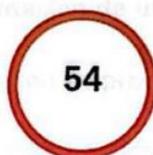
The logo for COPYLEAKS, featuring the word "COPYLEAKS" in white capital letters on a dark blue background. The letter "O" is stylized with a blue circle around it.

Quinaluisa-Pérez-Tesis.pdf

Scanned on: 20:48 August 9, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	705
Words with Minor Changes	412
Paraphrased Words	908
Omitted Words	2746

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "PATRICIA CONSTANTE".

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

C.C.: 0503354029



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Diseño e implementación de un sistema mecatrónico para el mezclado de fertilizantes mediante el control y automatización de procesos que permita la optimización de tiempo y reducción del esfuerzo del personal en la empresa agrícola “Tiagro” de la ciudad de Machachi”** fue realizado por los señores **Pérez Villegas, Samuel Alejandro y Quinaluisa Cajas, Laydi Manuela**; 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, 10 de agosto del 2022

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

C.C.: 0503354029



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Responsabilidad de autoría

Nosotros, Pérez Villegas, Samuel Alejandro, con cédula de ciudadanía N°1804371381 y Quinaluisa Cajas, Laydi Manuela, con cédula de ciudadanía N°1725922429, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “Diseño e implementación de un sistema mecatrónico para el mezclado de fertilizantes mediante el control y automatización de procesos que permita la optimización de tiempo y reducción del esfuerzo del personal en la empresa agrícola “Tiagro” de la ciudad de Machachi” es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 10 de agosto del 2022

Pérez Villegas, Samuel Alejandro

C.C.: 1804371381

Quinaluisa Cajas, Laydi Manuela

C.C.: 1725922429



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Autorización de Publicación

Nosotros, Pérez Villegas, Samuel Alejandro, con cédula de ciudadanía N°1804371381 y Quinaluisa Cajas, Laydi Manuela, con cédula de ciudadanía N°1725922429, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: "Diseño e implementación de un sistema mecatrónico para el mezclado de fertilizantes mediante el control y automatización de procesos que permita la optimización de tiempo y reducción del esfuerzo del personal en la empresa agrícola "Tiagro" de la ciudad de Machachi", en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 10 de agosto del 2022

Pérez Villegas, Samuel Alejandro

C.C.: 1804371381

Quinaluisa Cajas, Laydi Manuela

C.C.: 1725922429

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de titulación primeramente al Abba quien me ha guiado día a día y ha estado conmigo en todo momento por su grande misericordia y amor, a mi padre Wilfrido por su apoyo incondicional en todo lo que he hecho, a mi madre Elizabeth que con cada consejo , abrazo, regaño me ha hecho la persona que soy hoy por hoy me ayudado siempre ha salir adelante, a mis abuelitos Ramon y Marina quienes han estado siempre en cada logro y en cada momento importante de mi vida siendo uno de los pilares fundamentales de mi vida, a mis tíos Santiago y Carlos por sus consejos y regaños que me han hecho ser mejor persona, a mis hermanos Joel, Isaac y Elías quienes me dan aliento de seguir adelante, a mi mejor amiga Laydi quien ha aguantado a través de esta aventura llamada universidad y a mi novia Britney quien ha estado conmigo en todo momento apoyándome y dándome ánimos de seguir adelante.

Pérez Villegas, Samuel Alejandro

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mis padres que me han ayudado a llegar hasta este momento de mi vida, a mis amigos que han estado presentes en mi etapa universitaria y a mí por no haberme rendido en todo el trayecto de la carrera y lograr haber alcanzado este objetivo. También lo dedico a todas las personas que no lograron estar presentes en esta etapa de mi vida, pero desde donde estén, sé que se alegrarán por mis logros.

Quinaluisa Cajas, Laydi Manuela

Agradecimiento

Agradezco al Abba por haberme dado la salud, la fortaleza y el cuidado diario para poder seguir adelante y culminar con los estudios, a mis padres quienes han sido mi apoyo en todo momento y me han permitido cumplir mis metas con sus cuidados, ayuda y protección, a mis abuelitos quienes han sido un pilar fundamental en toda mi vida, a mis tíos por la ayuda y consejos en todo momento, a mis amigos que han estado a lo largo de mis estudios con su apoyo, compañía y amistad. Agradezco a los padres de mi mejor amiga por darnos la oportunidad de realizar la tesis en su empresa y abrirme las puertas de su hogar, a mi mejor amiga por la amistad y el apoyo que siempre estuvieron presentes y a mi novia por el apoyo y la ayuda en todo momento cuando lo necesitaba.

Pérez Villegas, Samuel Alejandro

Agradecimiento

Agradezco a mi familia por el apoyo brindado en toda mi carrera universitario, a mi compañero de tesis Samuel Pérez por ser un apoyo no solo en el proyecto de titulación sino también a lo largo de la carrera y brindarme su amistad. Y en general a todas las personas que han estado presentes a lo largo de mi carrera universitaria.

Quinaluisa Cajas, Laydi Manuela

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento	8
Agradecimiento	9
Índice de contenidos.....	10
Índice de figuras.....	17
Índice de tablas.....	21
Resumen	22
Abstract.....	23
Capítulo I: Aspectos Generales	24
Planteamiento del problema	24
Antecedentes.....	25
Justificación e importancia.	26
Objetivos	28
<i>Objetivo general.....</i>	28

<i>Objetivos específicos</i>	28
Hipótesis.....	28
<i>Variables de la investigación</i>	28
Variable independiente.	28
Variable dependiente.	29
Capítulo II: Fundamentación teórica e introducción	30
Fertilizantes	30
Clasificación de los fertilizantes	30
<i>Criterio tradicional:</i>	30
<i>Según el lugar donde se aplicara el fertilizante:</i>	31
<i>Según la presentación del fertilizante:</i>	31
<i>Según las sustancias que lo conforman:</i>	31
Tipos de mezcladoras de fertilizantes.....	31
<i>Mezcladora horizontal</i>	32
<i>Mezcladora Vertical</i>	33
<i>Mezcladora de doble cono</i>	33
<i>Mezcladoras cilíndricas</i>	34
<i>Mezcladoras Ribbon Blender (Dobles cintas helicoidales)</i>	34
<i>Mezcladoras en "V" (pantalón)</i>	35
Capacidad y tiempo de la mezcla	36

<i>Tamaño de la mezcladora</i>	37
<i>Capacidad de la línea de mezcla</i>	37
Válvulas de paso.	38
<i>Válvula bola</i>	38
<i>Válvula globo</i>	38
<i>Válvula de compuerta</i>	39
<i>Válvula mariposa</i>	39
Actuadores eléctricos	39
Celdas de carga.	40
<i>Principio de funcionamiento</i>	40
Tipos de celdas de cargas.....	41
<i>Célula de carga de compresión</i>	41
<i>Célula de carga de compresión/tensión</i>	41
<i>Célula de carga de viga flexible</i>	41
<i>Célula de carga de punto único</i>	41
Control Lógico Programable o PLC.....	42
<i>Lenguajes de Programación de PLC</i>	42
Lenguaje Ladder (LD).....	43
Diagrama en Bloques (FBD).	43
Texto estructurado (ST).	43

Capítulo III: Diseño y selección de elementos	44
Boceto del diseño mecánico del sistema de mezclado	44
Método cualitativo por puntos	45
Selección del actuador lineal	45
<i>Actuadores lineales eléctricos</i>	46
<i>Actuadores Neumáticos</i>	47
<i>Actuadores hidráulicos</i>	48
Selección de la válvula para las tolvas de almacenamiento.	49
<i>Válvula tipo guillotina</i>	49
<i>Válvulas tipo mariposa</i>	50
<i>Válvula tipo bola</i>	50
Válvula para la dosificación del mezclador	51
Selección de las células de carga para las tolvas de pesaje	52
<i>Célula de carga tipo S</i>	52
<i>Célula de carga tipo viga</i>	53
Selección de los sensores de vacío de las tolvas de alimentación y pesaje	54
<i>Sensores capacitivos</i>	54
<i>Sensores fotoeléctricos</i>	55
Selección del PLC	56
<i>PLC Logo V8.3</i>	56

<i>PLC S7-1200</i>	57
Diseño mecánico de la mezcladora	58
<i>Forma de la tolva</i>	58
<i>Máquinas horizontales</i>	58
<i>Máquinas verticales</i>	59
<i>Diseño de la tolva mezcladora</i>	61
Selección del material para la tolva.....	61
<i>Cálculo de la potencia requerida para el motor</i>	66
<i>Mecanismo de transmisión de velocidad</i>	69
<i>Diseño de las cintas helicoidales para el mezclado del fertilizante</i>	71
<i>Diseño del eje de la mezcladora</i>	73
<i>Análisis estructural de la base de soporte de la tolva de mezclado</i>	83
Dimensionamiento de la tolva de pesaje.....	87
Diseño de las tolvas del almacenamiento.....	89
Diseño electrónico.....	91
<i>Circuito de potencia</i>	91
Cálculo del interruptor termomagnético.	92
Diagrama de conexión.....	93
<i>Circuito eléctrico</i>	94
<i>Selección de la fuente de alimentación</i>	95

<i>Diseño de circuito de acondicionamiento de las celdas de carga</i>	97
Cálculos para el acondicionamiento de la celda de la tolva de pesaje.....	97
Esquema de programación	100
Interfaz gráfica	100
Trabajos futuros.....	101
Análisis de costos de materiales	102
Capítulo IV: Construcción del sistema de mezclado de fertilizantes.....	103
Capítulo V: Pruebas y resultados	113
Interfaz gráfica de mezcladora	113
Pruebas de funcionamiento.....	114
<i>Tiempo de apertura y cierre de válvulas de dosificación</i>	115
<i>Tiempo que demora en caer el material desde cada tolva de almacenamiento</i>	117
<i>Tiempo que demora en caer el material de la tolva de pesaje</i>	119
<i>Pruebas de pesaje de la tolva pesadora</i>	120
<i>Tiempo de mezclado para la homogenización del material</i>	122
<i>Pruebas de pesaje de ensacado</i>	123
Validación de la hipótesis	124
Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones.....	130
Conclusiones	130
Recomendaciones	132

Bibliografía	133
Anexos	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mezcladora horizontal	32
Figura 2 Mezcladora doble cono	34
Figura 3 Cintas helicoidales.....	35
Figura 4 Mezcladora en V	36
Figura 5 Partes de un actuador lineal eléctrico.....	40
Figura 6 Puente de wheatstone	41
Figura 7 PLC Siemens s7-1200.....	42
Figura 8 Diseño del sistema de mezclado	44
Figura 9 Actuador lineal eléctrico en paralelo	46
Figura 10 Conexión para el funcionamiento del actuador neumático.....	47
Figura 11 Sistema de conexión de actuador hidráulico.....	48
Figura 12 Célula de carga tipo S.....	52
Figura 13 Célula de carga tipo viga.....	53
Figura 14 Sensor fotoeléctrico reflectivo	55
Figura 15 Máquinas mezcladoras horizontales	59
Figura 16 Máquina mezcladora vertical	60
Figura 17 Espacio para colocación de la mezcladora	64
Figura 18 Identificación de las medidas de la tolva	64
Figura 19 Coeficientes para procesos de agitación.....	66
Figura 20 Selección de motor monofásico	68
Figura 21 Placa de datos del motor seleccionado.....	69
Figura 22 Catálogo de cajas reductoras motive	70
Figura 23 Doble hélice de cinta	72

Figura 24 <i>Propiedades mecánicas de aceros</i>	73
Figura 25 <i>Eje de la mezcladora</i>	74
Figura 26 <i>Diagrama de cuerpo libre</i>	75
Figura 27 <i>Diagrama de fuerzas cortantes</i>	76
Figura 28 <i>Diagrama de momentos flectores</i>	76
Figura 29 <i>Tabla de factor de superficie</i>	78
Figura 30 <i>Factor de tamaño</i>	79
Figura 31 <i>Factor de confiabilidad</i>	79
Figura 32 <i>Factores de concentración de esfuerzos y de sensibilidad a la muesca</i>	80
Figura 33 <i>Análisis del eje en software especializado</i>	82
Figura 34 <i>Estructura de la base de soporte de la tolva de mezclado</i>	83
Figura 35 <i>Análisis estructural en software especializado</i>	85
Figura 36 <i>Análisis estructural utilizando esfuerzos de Von Mises</i>	85
Figura 37 <i>Análisis de tensión axial y de flexión en las vigas</i>	86
Figura 38 <i>Análisis de desplazamientos</i>	86
Figura 39 <i>Diseño final de la mezcladora de fertilizantes</i>	87
Figura 40 <i>Diseño tolva de pesaje</i>	88
Figura 41 <i>Análisis estático de la tolva de pesaje</i>	88
Figura 42 <i>Diseño de tolva de almacenamiento</i>	89
Figura 43 <i>Análisis estático de los embudos para las tolvas de almacenamiento</i>	90
Figura 44 <i>Diseño final del sistema de mezclado de fertilizantes</i>	91
Figura 45 <i>Placa de datos del motor</i>	92
Figura 46 <i>Contactador para el motor monofásico</i>	93
Figura 47 <i>Diagrama de potencia del motor</i>	93

Figura 48 <i>Diagrama de control del motor monofásico</i>	94
Figura 49 <i>Sistema de alimentación de energía</i>	95
Figura 50 <i>Fuente de alimentación</i>	97
Figura 51 <i>Amplificador AD620</i>	99
Figura 52 <i>Circuito final del amplificador ad620</i>	100
Figura 53 <i>Pantallas HMI</i>	101
Figura 54 <i>Doblado de la tolva de mezclado</i>	103
Figura 55 <i>Lámina dobla de acero inoxidable para la tolva de mezclado</i>	104
Figura 56 <i>Corte y suelda de los laterales de la tolva de mezclado</i>	104
Figura 57 <i>Proceso de embudos para tolvas de almacenamiento</i>	105
Figura 58 <i>Proceso de construcción de la base de la mezcladora de fertilizantes</i>	105
Figura 59 <i>Construcción del eje y hélices de la mezcladora</i>	106
Figura 60 <i>Armado del sistema de movimiento del eje</i>	107
Figura 61 <i>Estructura para la colocación de embudos</i>	107
Figura 62 <i>Colocación de la mezcladora y tolva de pesaje en el lugar de trabajo</i>	108
Figura 63 <i>Ensamble de actuadores y válvulas tipo guillotina</i>	109
Figura 64 <i>Colocación y cableado de actuadores y sensores capacitivos</i>	109
Figura 65 <i>Colocación de los tubos PVC para el transporte de material</i>	110
Figura 66 <i>Corte y colocación de los tanques de almacenamiento</i>	110
Figura 67 <i>Acoplamiento de válvula de dosificación de ensacado y colocación de paro de emergencia y botón de dosificación</i>	111
Figura 68 <i>Circuitos para el funcionamiento de los sensores y actuadores</i>	111
Figura 69 <i>Proceso de armado del tablero de control</i>	112
Figura 70 <i>Sistema de mezclado</i>	112

Figura 71 <i>Pantalla principal de la interfaz gráfica</i>	114
Figura 72 <i>Diferencia entre la válvula de ensacado y las demás válvulas</i>	117
Figura 73 <i>Pruebas de pesaje</i>	121
Figura 74 <i>Diagrama de operaciones de proceso de la mezcla de fertilizantes manual</i>	126
Figura 75 <i>Proceso de mezclado manual</i>	127
Figura 76 <i>Diagrama de operaciones de proceso para el mezclado mediante el sistema de mezclado automatizado</i>	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Selección de actuador lineal.....	49
Tabla 2 Selección de la válvula para las tolvas de alimentación	51
Tabla 3 Selección de la célula de carga adecuada	53
Tabla 4 Selección del sensor de vacío de las tolvas.....	56
Tabla 5 Selección de PLC.....	57
Tabla 6 Selección de la forma de la tolva mezcladora	60
Tabla 7 Densidades de los elementos utilizados en las mezclas	62
Tabla 8 Datos necesarios para los cálculos de la tolva mezcladora	63
Tabla 9 Componentes electricos para calculo de fuente	96
Tabla 10 Costos de los materiales del sistema de mezclado.....	102
Tabla 11 Tiempos de apertura de las válvulas	115
Tabla 12 Tiempos de cierre de las válvulas	116
Tabla 13 Peso máximo que entrega cada tolva.....	118
Tabla 14 Tiempos de caída de cada tolva.	118
Tabla 15 Tiempo de caída de material de tolva de pesaje.....	119
Tabla 16 Pruebas de pesaje con sacos cerrados (Sc) y sacos abiertos (Sa).....	121
Tabla 17 Porcentaje de error del pesaje con sacos cerrados (Sc) y sacos abiertos (Sa).....	122
Tabla 18 Tiempos de mezclado	122
Tabla 19 Pruebas de ensacado	123
Tabla 20 Comparación de los resultados entre la mezcla manual y el sistema de mezclado.....	129

Resumen

El presente trabajo de titulación contempla la implementación de un sistema para el mezclado y la dosificación de fertilizantes cuya capacidad será de aproximadamente media tonelada, con diferentes fórmulas ocupadas por el almacén agrícola "TIAGRO". Por medio de la investigación previa se desarrolló una mezcladora de tipo cinta helicoidal la cual es dosificada por 7 tolvas, 5 tolvas con capacidad de 250kg y 2 tolvas de 500Kg. El diseño mecánico de la estructura se la realizó en un software CAD, aquí se desarrolló el sistema de las 7 tolvas de aproximadamente media tonelada cada una donde se almacena los diferentes fertilizantes para la mezcla, los cuales luego pasan a la tolva de pesaje para después pasar a la mezcladora y finalmente al sistema de ensacado, se realizó el diseño y simulaciones para obtener una estructura y sistema que cumpla con todos los requerimientos como es la resistencia y la calidad de materiales para que puedan soportar el peso de los fertilizantes. La siguiente etapa fue diseñar el diseño eléctrico para el sistema el cual consta con diferentes sensores que permiten la alimentación desde las tolvas de almacenamiento hacia la mezcladora, el motor para el sistema de mezclado y la cosedora que serán los principales actuadores del sistema, además de controlador lógico programable que es el encargado de controlar todo el sistema con la ayuda de un HMI desarrollado en una pantalla touch desde donde el operario puede controlar las mezclas de acuerdo a la fórmula que necesite.

Palabras clave: automatización mecatrónica, mezcladora de cinta helicoidal, fertilizantes, tolvas de pesaje.

Abstract

The present titling work contemplates the implementation of a system for the mixing and dosing of fertilizers whose capacity will be approximately half a ton, with different formulas occupied by the "TIAGRO" agricultural warehouse. Through previous research, a helical ribbon type mixer was developed which is dosed by 7 hoppers. The mechanical design of the structure was carried out in CAD software, here the system of the 7 hoppers of approximately half a ton each was developed, where the different fertilizers for the mixture are stored, which are then passed to the weighing hopper for later moving to the mixer and finally to the bagging and cooking system, the design and simulations were carried out to obtain a structure and system that meets all the requirements such as resistance and quality of materials so that they can support the weight of the fertilizers. The next stage was to design the electrical design for the system, which consists of different sensors that allow feeding from the storage hoppers to the mixer, the motor for the mixing system and the sewing machine, which will be the main actuators of the system, in addition the programmable logic controller that is in charge of controlling the entire system with the help of an HMI developed on a touch screen from where the operator can control the mixtures according to the formula he needs.

Keywords: mechatronic automation, helical ribbon mixer, fertilizers, weigh hoppers.

Capítulo I

Aspectos generales

Planteamiento del problema

La agricultura en el Ecuador es la base del sistema alimentario pues produce cultivos que alimentan a las personas, pero para ello es necesario el cuidado de este, mediante el uso de fertilizantes que garanticen la buena calidad del suelo y mejorar sus propiedades

Para esto la empresa Tiagro realiza su propio fertilizante el cual ayuda a mejorar los suelos en la ciudad de Machachi, pero al ser un proceso de mezclado manual tiene varios inconvenientes que pueden llegar a menorar la calidad del producto.

Los problemas del mezclado manual son el tiempo que este lleva en realizarlo ya que en la empresa “Tiagro” una práctica común es trabajar con sacos pre-pesados los cuales son volcados de uno en uno en el piso hasta alcanzar el peso deseado de los diferentes componentes para la mezcla. Al utilizar este tipo de mezclado se presentan varios problemas entre ellos al momento de realizar el ensacado de los sacos pues el pesaje de los mismos puede variar y contener errores como el no pesar exactamente los 50 Kg (110lb) del material o que el trabajador no vacíe por completo el saco. (Boger, 2007)

Otro problema es el esfuerzo físico que las personas deben realizar ya que el personal debe manipular sacos de fertilizante muy pesados, lo que puede causar fatiga física, o lesiones, que se pueden producir de una forma inmediata o posteriormente debido a la acumulación de pequeños traumatismos.

La OIT (Organización Internacional del Trabajo) explica que la manipulación manual de elementos pesados es una de las causas más frecuentes de accidentes laborales y equivale a un 20-25% del total de los producidos, de ahí que la importancia de los sistemas de mezclado se ha incrementado, ya que logran optimizar tiempos y velocidades de mezclado de los productos. (Julian & Rincón, 2017)

Antecedentes

La empresa agrícola Tiagro ubicada en el centro de la ciudad de Machachi, inicio sus actividades hace 8 años, con la venta de productos agrícolas y fertilizantes principalmente para el cultivo de papas y otros productos de la zona, en la actualidad realiza diferentes mezclas de fertilizantes de forma manual, los trabajadores realizan las mezclas mediante el uso de palas y una balanza para el ensacado del fertilizante.

El uso de los abonos fue descubierto hace miles de años mediante la observación de los terrenos. Desde utilización de excrementos humanos y de estiércol, mezclados con detritus vegetales, está demostrada en la antigua Mesopotamia en el primer milenio a. de C., al igual que en Egipto, aun cuando tenía a su fácil disposición abundante lodo del Nilo, posteriormente se extendió a lo largo de la cuenca mediterránea.

Han pasado varios años desde la aparición de los fertilizantes. Y desde ese entonces los procedimientos para obtener fertilizantes se han ido tecnificando utilizando diferentes tipos de maquinarias para su uso de las cuales se presentarán algunos ejemplos a continuación.

Del estudio de la tesis “Diseño de una línea de producción de fertilizantes pulverizados usando Molino de Pines” (Isabel et al., 2013), en el capítulo II indica varios tipos de sistema de mezcladores como: de tambor, cónico, de doble cono, en V, vertical de tornillo, entre otros y de estos mediante un análisis eligen que el mejor es el mezclador vertical de tornillo ya que satisface las necesidades para este el sistema de mezclado.

Otro sistema de mezcla de fertilizantes es el Sistema de mezcla por ciclos Blending Discontinuo de (ArcoMet, 2019), el cual cuenta con un sistema de mezcla por ciclos que se lleva a cabo a través de la mezcladora HLV FR, la cual esta diseñada específicamente para este sector con sistema de mezcla de doble hélice el cual no daña ni deteriora los productos a mezclar. El ciclo de la mezcla se inicia cuando el

material es transportado hasta la mezcladora siguiendo la fórmula que ha sido introducida con anterioridad en el equipo de control.

Cuando está cargada la mezcladora se inicia con el proceso de mezcla. Además, esta cuenta con un variador de frecuencia para regular los ciclos de mezclado. Finalmente se lleva a cabo la mezcla se realiza la descarga del producto y se procede al ensacado. El resultado del proceso es una mezcla exacta, homogénea y de gran calidad.

Este tipo de sistema contiene todo lo necesario para un proceso de mezclado de fertilizantes de una manera adecuada y homogénea, pero su desventaja radica en su elevado costo y que está diseñado para una producción elevada.

Justificación e importancia.

El incremento de la población mundial en los últimos años ha exigido un constante reto a la agricultura para proporcionar mayor cantidad de alimentos y con mejor calidad por lo que para poder incrementar la producción agrícola para abastecer dicho crecimiento se ha proporcionado a los suelos fuentes de nutrientes adicionales en formas asimilables por las plantas, para incrementar los rendimientos de los cultivos.

Esto es posible mediante la utilización de fertilizantes minerales, con cuya aplicación racional se ha demostrado el efecto que ha tenido en el incremento de los rendimientos de las cosechas, obteniendo a su vez productos con mayor calidad.

Los fertilizantes, reducen la erosión y protegen a los terrenos de los agentes climáticos de los agentes climáticos. (anffe, n.d.)

Cuando los fertilizantes se utilizan de forma racional, sus efectos son favorables y esenciales para la fertilidad del suelo, para el rendimiento y calidad de las cosechas, para la salud humana, aportando los elementos esenciales al metabolismo, y el medio ambiente por lo que esta mezcladora

permitirá racionalizar homogéneamente las mezclas de los fertilizantes de acuerdo con el requerimiento del operario.

La empresa Tiagro ha realizado por más de dos años la mezcla de fertilizantes de forma manual con sus propias fórmulas, las mismas que han ayudado al mejoramiento del suelo para el cultivo en la ciudad de Machachi, este proceso consiste en movilizar quintales de diferentes compuestos a un lugar para pesarlos de acuerdo con la fórmula que se vaya a implementar, luego mezclarlos mediante palas en el suelo y finalmente ensacarlos.

Los problemas del mismo son que al tener que realizar varios procesos y al contar solo con dos empleados este lleva mucho tiempo y demasiado esfuerzo físico por parte de los mismos ya que el marco normativo establece los pesos máximos permisibles para el manejo de cargas con los cuales se ha demostrado que si se los sobrepasan pueden ocasionar un accidente laboral o una enfermedad profesional; el código del trabajo de Ecuador establece en el artículo 417 que queda prohibido el transporte manual en todo lugar de trabajo, de cualquier tipo de objeto cuyo peso de carga sea superior a 59 kg; también tenemos la norma ISO 11228-1 la cual especifica los límites recomendados para el Levantamiento de carga, en donde la masa máxima es igual a 25 kg.

Además de que al mezclar los elementos no se tomen las medidas correctas generando una falta de homogenización de los componentes y que en el piso puede sufrir cambios debido al polvo o suciedad, por lo el sistema de mezclado pretende optimizar dicho proceso con la ayuda de la automatización y del control para poder aumentar la productividad y disminuir el tiempo de elaboración del fertilizante mejorando así la calidad del producto.

Existen varios tipos de maquinaria para este proceso, pero su desventaja es que su costo es muy elevado al tener capacidades de más de una tonelada dando así la pauta para realizar una maquinaria de menor tamaño con una capacidad de no más de media tonelada ajustándose a las especificaciones que la empresa requiere.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema mecatrónico para el mezclado de fertilizantes mediante el control y automatización de procesos en la empresa agrícola “Tiagro” de la ciudad de Machachi, para la optimización de tiempo y reducir el esfuerzo del personal.

Objetivos específicos

- Investigar los diferentes sistemas de mezclado de fertilizante mediante el uso de fuentes bibliográficas para seleccionar el más óptimo
- Diseñar el sistema de mezclado mediante el uso softwares de diseño CAD y eléctrico para su simulación y selección de materiales adecuados
- Construir la estructura del sistema de mezclado de fertilizantes mediante el ensamblado de los componentes y herramientas necesarios, para el funcionamiento adecuado del mismo.
- Desarrollar un control y HMI amigable con el usuario mediante la programación adecuada para la selección de los componentes de la mezcla de acuerdo a fórmulas establecidas por el usuario
- Realizar las pruebas necesarias del sistema ingresando las diferentes fórmulas para verificar que las mezclas sean las correctas de acuerdo a lo seleccionado por el usuario

Hipótesis

¿El diseño e implementación de un sistema mecatrónico para el mezclado de fertilizantes mediante el control y automatización de procesos permitirá la optimización de tiempo y reducción del esfuerzo del personal en la empresa agrícola “Tiagro” de la ciudad de Machachi?

Variables de la investigación

Variable independiente. Sistema de mezclado de fertilizantes

Variable dependiente. Optimización de tiempo de producción y reducción del esfuerzo del personal

Capítulo II

Fundamentación teórica e introducción

Fertilizantes

Según (Arenas, 2017), se denomina fertilizante a todo aquel compuesto que contribuye a la nutrición de las plantas al ser agregado al suelo, que es la forma de aplicación más común, o aplicado directamente sobre la planta. Además de aire, agua y luz, las plantas necesitan nutrientes y minerales para desarrollarse y crecer, algunas con mayor cantidad, y otras con menor. A los elementos principales de los fertilizantes como el nitrógeno, fósforo, potasio y azufre, se los conoce como macronutrientes, mientras que los elementos secundarios, como el hierro, cobre, molibdeno o zinc, se los conoce como micronutrientes.

Cuando los suelos no contienen las cantidades adecuadas de minerales y nutrientes, o bien cuando su biodisponibilidad para ser tomados de manera eficiente por las raíces de las plantas es baja, disminuye el crecimiento, y, por ende, el rendimiento de los cultivos. En muchas ocasiones, la deficiencia de minerales y nutrientes no se ve reflejado solo sobre el crecimiento de la planta, pero también sobre la calidad del producto cosechado de este, por eso, es recomendable recurrir a la fertilización.

Clasificación de los fertilizantes

Existen varios criterios con los que se pueden clasificar los fertilizantes:

Criterio tradicional:

Este criterio toma en consideración el macronutriente principal que se desea aportar, por ejemplo:

- Fertilizantes nitrogenados
- Fertilizantes fosforados
- Fertilizantes azufrados

- Fertilizantes potásicos
- Fertilizantes combinados (poseen más de un macronutriente)

Según el lugar donde se aplicara el fertilizante:

- Fertilizantes edáficos
- Fertilizantes foliares

Según la presentación del fertilizante:

- Líquidos
- Sólidos
- Granulados

Según las sustancias que lo conforman:

- Fertilizantes artificiales: se obtienen mediante procesos industriales, elevando su costo.
- Fertilizantes naturales: se obtienen directamente de la naturaleza, como es el caso de la cal dolomítica o de la roca fosforada. Dentro de los fertilizantes naturales suele incluir un subgrupo importante, que es el de los fertilizantes orgánicos o abonos.
- Fertilizantes biológicos: corresponden a una nueva generación de productos para el agro, considerados más amigables con el medio ambiente. Se basan en la acción de microorganismos benéficos para las plantas que contribuyen a su nutrición de manera indirecta, al solubilizar fósforo o fijar nitrógeno atmosférico. (Calvo, 2020)

Tipos de mezcladoras de fertilizantes

Dichos equipos cumplen con la tarea de homogeneizar la mezcla de materiales vertidos en su interior provenientes principalmente de tolvas pesadoras (utilizadas para el control del dosaje de materiales), y después de un periodo de procesado dar el compuesto ya homogeneizado para ser transportado al sitio de almacenamiento para su venta.

Mezcladora horizontal

Las mezcladoras horizontales se forman por una carcasa tipo tina horizontal (sencilla o doble) con respectivos ejes localizados en el centro radial de la misma. Este eje (o ejes, dependiendo del tipo de mezcladora), poseen adosados los recursos de mezcla; y son impulsados por la unidad motriz conectada así sea de manera directa o por medio de una transmisión de potencia mediante cadenas o correas, como se observa en la figura 1. Principalmente, hace falta que la unidad motriz integre reductor de velocidad, para asegurar la rapidez de rotación correcta y así la mejor mezcla. Los recursos de mezcla (paletas o cintas, que revisaremos posteriormente) mueven el material de un extremo a otro de la mezcladora produciendo el impacto de mezcla. La descarga se hace por el fondo de la mezcladora.

(Matalteco, 2020)

Ventajas y usos:

Es conveniente para mezclar hasta un 8% de líquidos en una mezcla seca, por lo cual da más versatilidad si se desea dar una extensa gama de productos. Es preferible calentar las grasas y melazas anterior a añadir las a las materias primas en la mezcladora.

Figura 1

Mezcladora Horizontal



Nota. Tomado de (Vulcano, n.d.)

Mezcladora Vertical

La utilización de mezcladoras verticales en la mezcla de fertilizantes a grado industrial está bastante limitada actualmente. No obstante, su uso sigue vigente en la elaboración de piensos para autoconsumo en granjas y en las pequeñas fábricas de alimento para ganadería, debido primordialmente al limitado precio de dichos conjuntos. En los ramos de acuicultura, avicultura y piscicultura se estima inadecuado la utilización de mezcladoras verticales, ya que las mezcladoras horizontales son muchísimo más eficientes para mezclar pequeñas porciones de líquidos (como las adiciones de lípidos) o para mezclar diversos tamaños de partículas.

Usos y restricciones: En principio, la acción de mezclado es eficaz y es capaz de producir una mezcla homogénea; sin embargo, debido a la lentitud de la acción de mezclado, el tiempo necesario para lograr una mezcla homogénea es considerablemente mayor (hasta 5 veces) que el tiempo requerido en una mezcladora horizontal. (Matalteco, 2020)

Mezcladora de doble cono

En la figura 2 se observa las mezcladoras romboidales o de doble cono (double-coneblenders) que son del tipo móvil-caída independiente y trabajan por difusión, en otros términos, por medio de la transferencia de partículas recludas de un elemento a zonas ocupadas por otro y son usados para la producción industrial. Son ideales para mezclas de rígidos en polvo o granulados y se caracterizan por su velocidad en la carga y descarga de los productos a mezclar, facilidad de aseo y mínimo mantenimiento. El sistema de transmisión podría ser mediante motor con poleas y “catarinas” o bien mediante motorreductor con “catarinas” o “coples”.

Este mezclador por su sistema de giro suele tener valores altos en cuanto su costo y suele ser utilizado en su mayoría para aplicaciones de bajo volumen.

Figura 2*Mezcladora doble cono*

Nota. Tomado de (Inoxpa, n.d.)

Mezcladoras cilíndricas

Las mezcladoras cilíndricas son del tipo móviles-giratorias y trabajan por difusión o minimixing, en otras palabras, por medio de la transferencia de partículas recluidas de un elemento a zonas ocupadas por otro. Son ideales para mezclas de pequeña o mediana escala. Tienen la posibilidad de ser fabricadas en forma sencilla o complicadas, incorporando cualquier dispositivo agitador (shaker), como un eje de palas o aspas para apurar el proceso. Entre los resultados positivos de dichos mezcladores se hallan la facilidad para la carga y descarga de los elementos, su cómoda limpieza y el mantenimiento mínimo que necesitan.

El sistema de transmisión funciona a través de motor con poleas y catarinas o bien por medio de motor reductor. (Quiminet, 2010)

Mezcladoras Ribbon Blender (Dobles cintas helicoidales)

Es la máquina ideal para el mezclado de productos en polvo o granulados; su principal ventaja es la rapidez de maniobra ya que a medida que se van incorporando los polvos o granulados, las cintas

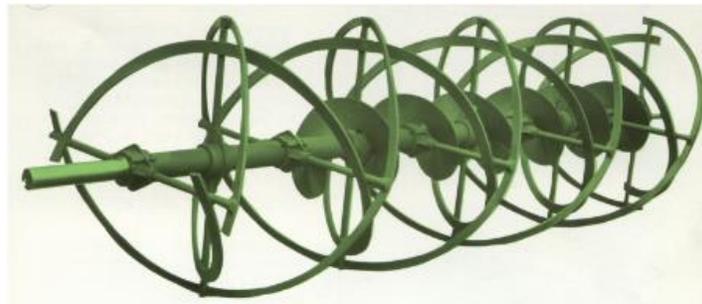
helicoidales que se muestran en la figura 3 se ponen en movimiento y de esta manera lograr una mezcla homogénea

En cinco o diez minutos se obtiene la mezcla de polvos tales como talcos y harinas o también de gránulos, mientras que, en casos de la mezcla de sólidos con líquidos, ésta puede tardar aproximadamente quince minutos.

Además, esta mezcladora también puede trabajar con mezclas con un 20% de humedad o un 5% de grasas. El sistema de transmisión puede ser por medio de motor con poleas y catarinas o bien por medio de motor reductor. (Molinos, 2019)

Figura 3

Cintas Helicoidales



Nota. Tomado de (Molinos, 2019)

Mezcladoras en "V" (pantalón)

Esta mezcladora destaca por su velocidad, facilidad de aseo, vasta utilidad y enorme exactitud para mezclas de firmes en polvo o granulados con una dispersión de 1 a 10,000 piezas y con probabilidad de añadidura de líquidos hasta un mayor del 10%.

Las mezcladoras en V que se observa en la figura 4, son del tipo móvil caída libre y trabajan por difusión, esto es mediante la transferencia de partículas que se encuentran de un componente a regiones ocupadas por otro y son utilizados en la producción de pequeña o mediana escala.

Para rellenar el producto se lo puede realizar en forma “diagonal” o bien en forma horizontal para productos que vienen con grumos para los cuales se adaptan rejillas en ambas entradas para que el producto pueda cernirse sin que se caiga al piso.

El sistema de transmisión puede ser por medio de motor con poleas y “catarinas” o bien por medio de motorreductor con “catarinas” o “coples”. (Lleal, 2019)

Figura 4

Mezcladora en V



Nota. Tomado de (Lleal, 2019)

Capacidad y tiempo de la mezcla

Cuando se habla de capacidad de producción en una empresa se piensa en un valor en Toneladas/Hora. Sin embargo, en las líneas de mezcla esta capacidad se la mide en Baches/Hora.

Un bache se mide en unidades de peso tales como kilogramos o toneladas las mismas que son controladas por básculas ya sea por medio de un proceso automatizado de dosificación o en básculas manuales. Aunque los baches se midan de esta forma, la capacidad de la mezcladora generalmente está definida en volumen (litros). Es así que la capacidad de Kilogramos/Bache es una función del producto específico a mezclar el cual en nuestro caso son los fertilizantes granulados. (Metalteco, 2020)

Tamaño de la mezcladora

Para poder dimensionar el tamaño de la mezcladora se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- En primer lugar, se debe conocer la cantidad de material que se va a utilizar para hacer la mezcla en cada tolva.
- Luego se debe encontrar el volumen que ocupa dicho material de acuerdo a su densidad con lo cual se puede calcular la potencia y velocidad de gira que necesitará la herramienta que mezclará el material.
- Y finalmente el tipo de uso que se dará a la mezcla para poder escoger el material con el cual se realizará la tolva.

Capacidad de la línea de mezcla

La capacidad de la mezcladora se define en L/Bache o Kg/Bache y la capacidad completa de la producción está dada en Kg/h. Para vincular estas dos capacidades en una medida única de capacidad de planta, es necesario entender el concepto de ciclos de mezcla por hora.

Un ciclo de mezcla está compuesto por los siguientes subprocesos:

- Llenado de la mezcladora.
- Tiempo de mezcla.
- Descargue.

El tiempo de mezclado puede variar debido a los siguientes factores:

- Dosificación: cuando se utilizan procesos con dosificación automática se aumenta la capacidad de producción. En condiciones ideales se logra llegar a capacidades de hasta 15 baches/h en mezcladora de paletas. En cambio, en los procesos con dosificación manual pueden alcanzar un promedio de 5 baches/hora, valor que fluctúa dependiendo del desempeño del personal involucrado en la dosificación.

- Tolvas: El diseño de la tolva es muy importante ya que es necesario asegurarse de tener una capacidad que supere en volumen a la capacidad de la mezcladora. Aunque no hay un valor predeterminado para dicha capacidad este depende en gran medida del fabricante y de los espacios disponibles; es común que las tolvas se diseñen con una capacidad de entre 1.25 y 1.5 veces el volumen de la mezcladora.
- Descarga: el sistema de descarga debe garantizar que la tolva sobre la mezcladora se carga completamente en el tiempo en que dura la mezcla + la descarga de la mezcladora.

(Metalteco, 2020)

Válvulas de paso.

Las válvulas son un objeto mecánico el mismo que permite iniciar, detener o regular el paso de líquidos, gases o sólidos por medio de un sistema interno que abre o cierra en forma parcial uno o más conductos y se pueden encontrar en los siguientes tipos:

Válvula Bola

Estas válvulas son de baja presión y diseño sencillo, son usadas para regular y controlar el flujo. Son un tipo de válvula muy usado en el control de fluidos gracias a su cierre rápido de $\frac{1}{4}$ de vuelta que con una llave permite que su funcionamiento sea muy sencillo.

Válvula Globo

Poseen un tapón obturador con forma de cono fijo el cual es impulsado por un vástago para abrir, cerrar o regular el flujo de líquidos. Estas válvulas permiten regular el paso del fluido el mismo que al pasar por la válvula cambia de dirección debido a su diseño ofreciendo una gran resistencia a su circulación. Se las fabrica en cualquier material como en acero al carbón, inoxidable, hierro, PVC, entre otros.

Válvula de compuerta

Esta válvula tiene una compuerta o cuchilla que se acciona por un vástago para abrir o cerrar el flujo de un líquido, gas o sólido que pasa por el interior de la válvula. Esta válvula permite tener un mejor control en la dosificación de sólidos por lo que es la que se utilizó en el sistema de mezclado.

Válvula Mariposa

Tiene una lámina movible que abre, cierra en forma parcial uno o más conductos; son de diseño muy sencillo. Su principal característica es ser de acción rápida por tener un cuarto de vuelta para pasar de cerrada a abierta. (Tuvalrep, 2022)

Actuadores eléctricos

Como muestra la figura 5 los actuadores están conformados por un motor eléctrico y un motor-reductor los mismos que accionan cualquier dispositivo para realizar movimientos o acciones.

Únicamente requiere la energía como fuente de poder y su estructura es simple en comparación con otros actuadores.

Estos actuadores almacenan datos para ser procesados por la parte de control, la cual se encarga de conectarlo y desconectarlo, según las necesidades. El control está integrado en el actuador con un interfaz eléctrico al sistema de automatización.

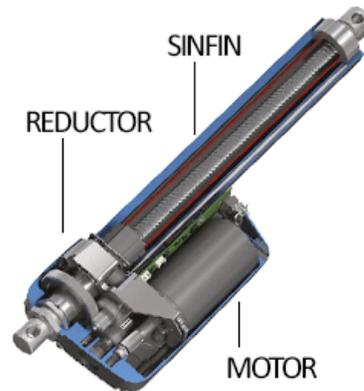
Los actuadores eléctricos son usados en las líneas de producción, ya que los robots trabajan en la automatización del montaje del chasis y soldadura de diferentes piezas para la fabricación de automóviles. Su aplicación en este sector es muy utilizada por su sencilla instalación, facilidad de control y fiabilidad.

También se emplean para accionar compuertas, válvulas y cualquier elemento que tenga comunicación desde un proceso a otro.(SDI, 2021)

Un actuador eléctrico a diferencia de los actuadores neumáticos o hidráulicos requiere menos componentes para ser activado, pero su velocidad es menos a ellos

Figura 5

Partes de un actuador lineal eléctrico



Nota. Tomado de (SDI, 2021)

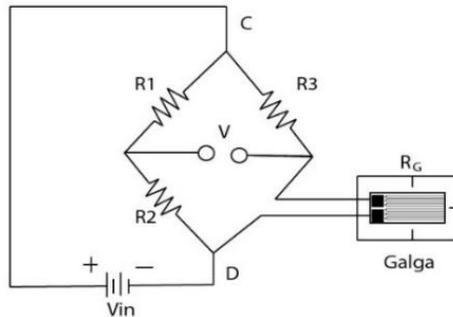
Celdas de carga.

Una celda de carga es un transductor que convierte la fuerza aplicada sobre ella en una señal eléctrica medible y son el sensor de fuerza más común en el mercado.

Los diseños de células de carga se pueden distinguir de acuerdo con el tipo de señal de salida generada (neumático, hidráulico, eléctrico) o de acuerdo con la forma en que detectan el peso (flexión, cizalladura, compresión, tensión, etc).

Principio de funcionamiento

Se basa en convertir el peso que actúa sobre ellas en voltaje o amperaje. Los sensores se unen a una viga que se deforma cuando se le aplica un peso. Se utilizan cuatro celdas para obtener la mayor sensibilidad. Cuando se aplica un peso, el voltaje cambia debido a la resistencia en el puente de Wheatstone que se observa en la figura 6. (Omega Engineering, 2019)

Figura 6*Puente de Wheatstone*

Nota. Tomado de (Omega Engineering, 2019)

Tipos de celdas de cargas

Célula de carga de compresión

Su diseño se basa en un botón integral y son ideales para espacios restringidos. Ofrecen excelente estabilidad a largo plazo.

Célula de carga de compresión/tensión

Las celdas de carga de compresión/tensión se usan para aplicaciones donde la carga pasa de tensión a compresión o viceversa y son ideales para entornos con espacio restringido. Son de fácil instalación.

Célula de carga de viga flexible

Se usan en aplicaciones de varias celdas, medición de tanques. Su construcción es de bajo perfil para áreas restringidas.

Célula de carga de punto único

Las celdas de punto único sirven para sistemas de medición comerciales o industriales. Son precisas sin importar la posición en la que se coloque. (Omega Engineering, 2019)

Control Lógico Programable o PLC.

Un PLC es una computadora que controla y automatiza procesos y que se conforma por numerosas entradas y salidas.

Están compuesto por un CPU, memoria RAM y memoria ROM.

Cuentan con entradas y salidas o con módulos específicos de expansión, figura 7. Cuentan con una fuente de alimentación y módulos de comunicación ya sea por cable o inalámbricos. Además de esto, se les pueden añadir periféricos externos, como los HMI (Human Machine Interface).

Se programan para realizar acciones específicas basadas en información recibida por dispositivos de campo los cuales pueden ser sensores y transductores y enviando acciones u órdenes sobre dispositivos actuadores como válvulas, motores, resistencias de calentamiento, etc. (Perera, 2020)

Figura 7

PLC Siemens s7-1200



Nota. Tomado de (Autotec, 2020)

Lenguajes de Programación de PLC

Los PLC tienen diferentes lenguajes que dan versatilidad al momento de realizar un programa. A continuación, se mencionan los 3 más conocidos:

Lenguaje Ladder (LD). Se basa en el conexionado eléctrico de control constando de diferentes funciones predefinidas necesarias parametrizar en dependencia de su aplicación.

Diagrama en Bloques (FBD). Son secuencias de bloques lógicos, utilizando condiciones verdaderas o falsas.

Texto estructurado (ST). Es un lenguaje de alto nivel que resuelve operaciones aritméticas complejas. Cuenta con funciones condicionales y bucles.

Capítulo III

Diseño y selección de elementos

Boceto del diseño mecánico del sistema de mezclado

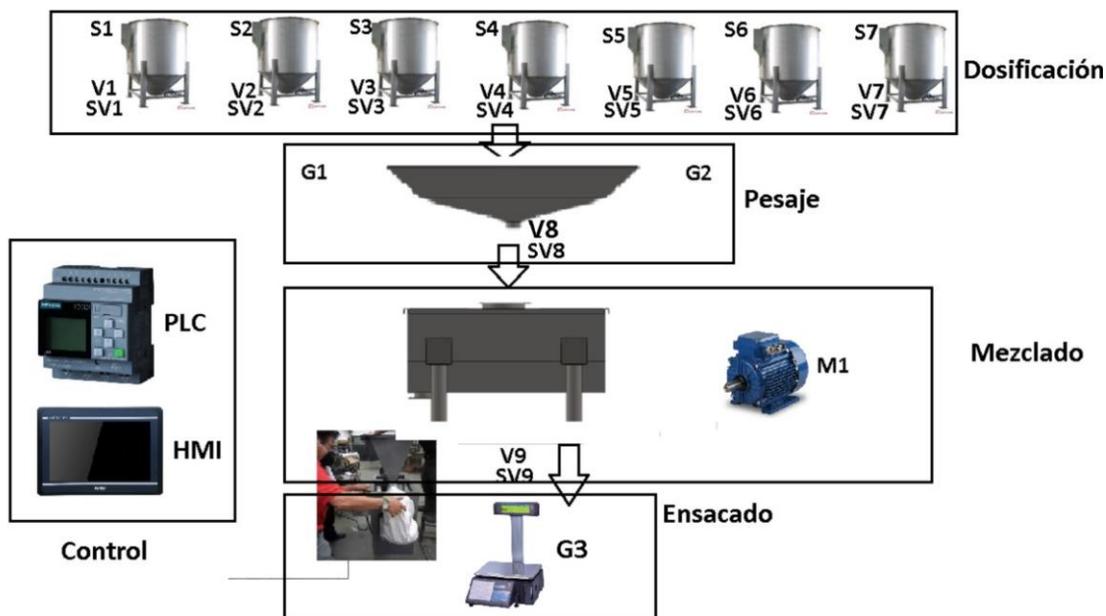
El diseño del sistema de mezclado de fertilizantes que se muestra en la figura 8 se ha dividido en tres partes:

- Dosificación: Se diseña o selecciona las tolvas de almacenamiento para cada uno de los componentes de la mezcla y además la forma de dosificación hacia la tolva de pesaje.
- Pesaje: Se diseña la tolva de pesaje y la estructura en la cual se colocará las celdas de carga para el pesaje de los componentes y su dosificación hacia la tolva de mezclado.
- Mezclado y ensacado: Se diseña la tolva y el sistema de mezclado incluyendo el mecanismo para el ensacado del producto mezclado.

Para el control de estas 3 partes anteriormente mencionadas se utilizará un controlador lógico programable y un HMI que también se muestran en la figura 8.

Figura 8

Diseño del sistema de mezclado



En la figura 8 se observa las partes del sistema de mezclado donde se representa con la letra S la posición de los sensores con los que ésta contada, con la letra V las válvulas que permitirán la dosificación de los elementos, las letras SV hacen referencia los finales de carrera ubicados en las válvulas, la letra G representa las células de carga que ayudaran al pesaje de productos, y finalmente la letra M representa el motor para el funcionamiento de la mezcladora.

Para la selección de los actuadores y sensores del sistema de mezclado de fertilizantes se pretende usar el método cualitativo por puntos

Método cualitativo por puntos

El método consiste en identificar los factores más relevantes de una localización, para asignar a estas ponderaciones cuantitativas, de acuerdo a su importancia. Estas ponderaciones dependerán mucho del criterio y la experiencia del evaluador.

Para implementar el método de manera correcta se sugiere seguir los siguientes pasos:

- Desarrollar una lista de factores relevantes
- Asignar un peso a cada factor para indicar su importancia relativa, estos pesos deben sumar 1.00, y el peso asignado dependerá del criterio del evaluador.
- Asignar una escala común a cada factor y elegir cualquier mínimo
- Calificar cada sitio potencial de acuerdo con la escala designada y multiplicar la calificación por el peso
- Finalmente sumar la puntuación de cada sitio y elegir el que tenga la mayor puntuación.

(Burgos, 2017)

Selección del actuador lineal

Los actuadores lineales son aquellos que generan un movimiento de empuje o tracción. Se los utiliza para diferentes tipos de aplicaciones como: elevación, tracción, inclinación, entre otros. Entre los varios tipos de actuadores lineales que existen en el mercado se analizaran 3 tipos para la selección del

mismo los cuales son: Actuadores lineales eléctricos, actuadores lineales neumáticos y actuadores lineales hidráulicos.

Actuadores lineales eléctricos

En la figura 9 podemos observar un actuador lineal eléctrico el cual, para lograr un movimiento de tracción o empuje, transforma el movimiento rotativo del motor eléctrico, adicional al motor, también tiene otros componentes como tornillos sin fin, tuercas y elementos que permiten su correcto funcionamiento.

El actuador de la figura 9 es además un actuador eléctrico paralelo, esto quiere decir que el tornillo sin fin es paralelo al motor. Además, al ser impulsador por engranajes rectos puede tener mayor opción para la variación de velocidades y también un mayor rango de cargas. (LINA, 2019)

Las ventajas de este tipo de actuadores son: proporcionan un control preciso de velocidad, aceleración, desaceleración y fuerza, además de ofrecer precisión/ repetibilidad. Otra de sus ventajas radica en que la programación para aplicaciones de automatización es muy sencilla. La vida útil de este tipo de actuadores es mucho mayor que los actuadores hidráulicos o neumáticos, además de funcionar con un 70-80% de eficiencia total del sistema en comparación con el 40-55% de los actuadores hidráulicos y el 10-15% de los neumáticos. Y por último su conexión con sistemas de control como PLCs y HMIs es fácil. Su costo en el mercado varía de acuerdo a la carga y velocidad del actuador encontrándose precios entre 35 a 300 dólares. (Tolomatic, n.d.)

Figura 9

Actuador lineal eléctrico en paralelo



Nota. Tomado de (TIMOTION, 2021)

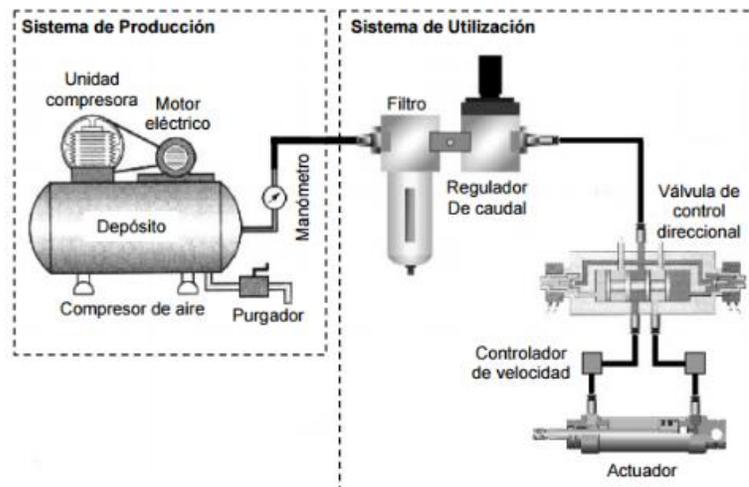
Actuadores Neumáticos

Los actuadores neumáticos son aquellos que funcionan con aire o gas, estos pueden ser para baja presión (30-250psi) y alta presión (300-3000psi), los gases con los que se puede trabajar en estos dispositivos son: nitrógeno, gas natural, gas dulce, gas de bombeo neumático, entre otros.

A diferencia de los actuadores eléctricos, los actuadores neumáticos dependen de accesorios para funcionar, tales como solenoides, interruptores de límite, filtro, regulador, manómetros, pilotos de alta y baja presión, interruptores eléctricos, válvulas de bypass, tanques de almacenamiento de gas, además de necesitar protocolos de comunicación para la conexión de controladores, algunos de estos se pueden observar en la figura 10. Su ventaja radica en la velocidad de acción cuando se necesita que el sistema sea veloz. (Intesista, 2018)

Figura 10

Conexión para el funcionamiento del actuador neumático



Nota. En la figura se observa algunos de los elementos necesarios para la conexión de un actuador neumático. Tomado de (Intesista, 2018)

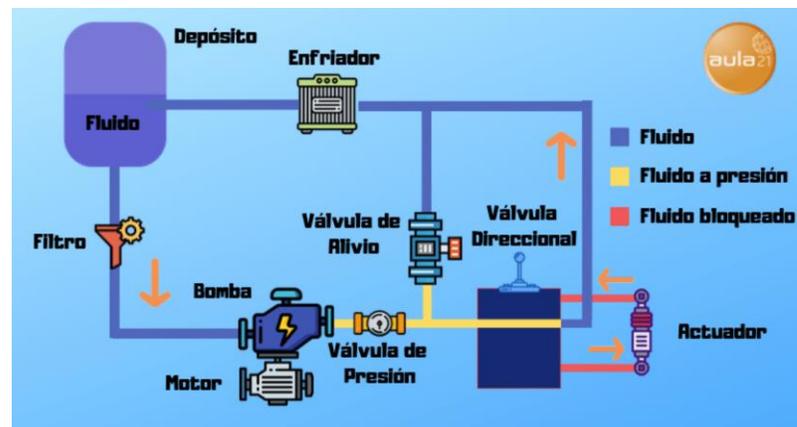
Actuadores hidráulicos

Este tipo de actuadores se encargan de convertir la energía hidráulica suministrada por la central hidráulica y así generar una fuerza y movimiento lineal.

Los actuadores hidráulicos pueden mover fuerzas muy superiores con respecto a los otros actuadores mencionados anteriormente, pero sus desventajas radican en que el sistema de funcionamiento puede tener pequeñas fugas de líquido hidráulico por lo que se genera una pérdida de eficiencia. Al igual que los actuadores neumáticos necesitan varios componentes externos para su correcto funcionamiento, como lo son tanque donde se encuentra el fluido, el motor para el transporte del fluido, enfriador, válvulas para activar y desactivar el actuador, entre otros, figura 11, además de producir ruidos más fuertes que los actuadores neumáticos y eléctricos. (Electromecanic, 2019)

Figura 11

Sistema de conexión de actuador hidráulico



Nota. Esta figura muestra los elementos necesarios para el funcionamiento de un actuador hidráulico.

Tomado de (Electromecanic, 2019)

Después de conocer sobre los diferentes tipos de actuadores se procede a realizar la selección del actuador, mediante el método cualitativo por puros y definir cuál de ellos es el más adecuado para la aplicación necesaria para el sistema de mezclado.

Tabla 1*Selección de actuador lineal*

Factor	Peso	Actuador Eléctrico		Actuador Neumático		Actuador Hidráulico	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
		Espacio de trabajo	0.2	8	1.6	4	0.8
Costo	0.3	8	2.4	7	2.1	5	1.5
Velocidad de trabajo	0.1	6	0.6	9	0.9	5	0.5
Conexión con controladores	0.2	9	1.8	3	0.6	4	0.8
Uso de elementos externos para su funcionamiento	0.2	9	1.8	3	0.6	3	0.6
Total	1	8.2		5		4.2	

La tabla 1 muestra la selección del actuador adecuado mediante el método cualitativo por puntos y de acuerdo a este se observa que la mejor opción para las necesidades del sistema de mezclado es el actuador lineal eléctrico, debido principalmente a su costo y a que ocupa un tamaño menor en el espacio de trabajo

Selección de la válvula para las tolvas de almacenamiento.

Para la dosificación de las tolvas de almacenamiento se elegirá entre diferentes válvulas de paso que existen en el mercado como lo son: válvulas tipo guillotina automáticas y válvulas de guillotina manuales, válvulas tipo mariposa y válvulas tipo bola, que a continuación se describirán

Válvula tipo guillotina

Este tipo de válvulas son diseñadas para el aislamiento en sistemas con alto contenido de sólidos en suspensión. Estas válvulas tienen una mínima caída de presión totalmente abierta, además que son fáciles de acciones, su peso es bajo y son accesibles en el mercado.

Las válvulas guillotina son aptas para funcionar en entornos duros y corrosivos por lo que son aptas para trabajar en este en el sistema de mezclado donde se usará diferentes tipos de fertilizantes.

Además, son diseñadas para abrir o cerrar lentamente y así salvaguardarse del golpe de ariete. (AVK Válvulas S.A., 2018)

Válvulas tipo mariposa

Este dispositivo utiliza un disco giratorio para controlar el flujo en un sistema. Además, posee un cierre hermético y una variedad de tamaños y diseños. En cuanto a su construcción requiere de menos piezas, por lo cual es más fácil su mantenimiento y reparación. Este tipo de válvulas suelen ser de tamaño más pequeño con respecto a las válvulas de bola.

Para la selección de una válvula mariposa se debe tener en cuenta el tipo de ambiente donde va a ser colocada para elegir el material del que sea elaborada la válvula, también debemos tomar en cuenta su nivel de precisión y la capacidad de las válvulas. (NTGD Valve, n.d.)

Válvula tipo bola

Estas válvulas cuentan con una esfera interna que ayuda a controlar el paso de los fluidos, líquidos, entre otras sustancias. Además, poseen una excelente capacidad de cierre. Entre sus ventajas podemos encontrar su bajo costo, además poseen un cierre hermético con baja torsión, su mantenimiento no es muy complicado, la probabilidad de fugas es muy baja. Pero al tener un solo cuarto de vuelta para su cierre o apertura no permiten una buena regulación. (DINCORSA, 2017)

Después de analizar las características de las diferentes válvulas se procede a aplicar el método cualitativo por puntos para seleccionar la válvula adecuada para el sistema de dosificación de las tolvas de alimentación.

Tabla 2*Selección de la válvula para las tolvas de alimentación*

Factor	Peso	Válvula tipo guillotina		Válvula tipo mariposa		Válvula de bola	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Tamaño	0.3	8	2.4	7	2.1	7	2.1
Costo	0.2	8	1.6	6	1.2	7	1.4
Material anticorrosivo	0.2	7	1.4	8	1.6	5	1
Adaptabilidad con actuadores	0.3	9	2.7	8	2.4	4	1.2
Total	1	8.1		7.3		5.7	

En esta tabla 2 podemos observar que la mejor opción de válvulas para las tolvas de alimentación son las válvulas tipo guillotina ya que tienen un tamaño adecuado y además se puede adaptar los actuadores.

Después de que se seleccionó la válvula guillotina para la dosificación, se buscó en el mercado válvulas automatizadas de este tipo encontrando opciones con costos demasiado elevados entre 850 y 1300 dólares cada una por lo que se decidió automatizarlas mediante actuadores y sensores finales de carrera los mismos que ayudan a disminuir costos dando un aproximado de 95 dólares.

Válvula para la dosificación del mezclador

Para esta válvula no se seleccionará mediante el método cualitativo por puntos ya que esta fue proporcionada por la empresa, la cual es una válvula tipo mariposa que según la tabla 2 se puede observar que es la segunda opción y tiene un puntaje bueno, así que, también es una válvula adecuada.

Selección de las células de carga para las tolvas de pesaje

En cuanto a las células de carga para realizar el pesaje de los diferentes componentes para la dosificación como para el ensacado, se seleccionarán entre dos tipos de estas como lo son las células de carga tipo S y las células de carga tipo viga.

Célula de carga tipo S

Las células de carga tipo S como se observa en la figura 12 tienen la forma de acuerdo a como su nombre lo indica, éstas pueden ser sometidas, tanto a tracción como compresión, dentro de sus aplicaciones están: el nivel de tanque, tolvas y básculas para camión. Estas dan un mejor rechazo a la carga lateral. (Omega Engineering, 2019)

En este tipo de célula de carga se pueden agregar diferentes accesorios para agregar un grado adicional de utilidad o precisión, según sus requisitos. El orificio roscado que posee se puede instalar en una barra roscada, un perno de argolla, como se observa en la figura 12 o un cojinete de extremo de varilla, según sea el propósito para el que se utilizará la celda de carga. Su capacidad de carga puede ir entre 25 kg a 10t (Contreras, 2021)

Figura 12

Célula de carga tipo S



Nota. Tomado de (Omega Engineering, 2019)

Célula de carga tipo viga

Una célula de carga tipo viga como su nombre lo indica y como se puede observar en la figura 13 es de forma rectangular y con un punto para sujetar la carga que se aplica. Su mayor característica, es su capacidad para operar en conjunto con otras celdas de carga, bien sea del mismo tipo o de otros, lo cual permite la suma de 1, 2 o más celdas de carga a fines de consolidar un sistema de pesaje específico requerido para un determinado objetivo. Su capacidad de carga es de pocos kilogramos hasta 5 toneladas. (Precision, 2021)

Figura 13

Célula de carga tipo viga



Nota. Tomado de (Precision, 2021)

Una vez que se conoce la información de estos dos tipos de células de carga que son los más adecuados para la tolva de pesaje del presente trabajo se procede a elegir uno de ellos.

Tabla 3

Selección de la célula de carga adecuada

Factor	Peso	Célula de Carga tipo S		Célula de carga tipo viga	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Operación en conjunto	0.2	6	1.2	8	1.6
Capacidad de carga	0.3	7	2.1	8	2.4
Forma y diseño	0.3	7	2.1	8	2.4
Exactitud	0.2	9	1.8	9	1.8
Total	1		7.2		8.2

La tabla 3 se puede apreciar que la célula de carga tipo viga es la que obtiene el puntaje más alto entre las dos opciones, debido a su capacidad de carga que puede ser desde los pocos kilos hasta 5 toneladas, además de su forma que se acopla más al lugar donde será instalada. También posee una buena exactitud y se puede trabajar en conjunto con otras celdas de carga.

La celda de carga para el pesaje del ensacado es una celda de 350 kg que se ha obtenido de una balanza que ya no estaba en funcionamiento en la empresa, y para el la tolva de pesaje se ha seleccionado dos celdas de 1000kg que son las que se han encontrado en el mercado a un precio conveniente y sobrepasan el valor que se pretende pesar, además de dejar un rango para que si en un futuro se decide aumentar la cantidad de producto mezclado estas sean útiles.

Selección de los sensores de vacío de las tolvas de alimentación y pesaje

La selección de los sensores de vacío de las tolvas de alimentación y pesaje se la realizará entre, los sensores capacitivos e infrarrojos.

Sensores capacitivos

Según (Creus Solé, 2011), los sensores capacitivos se basan en la variación de capacidad que se produce, en un condensador y un diafragma interno y unido a las mismas, cuando se les aplica una presión a través de dos diafragmas externos. Esta transmisión se la realiza a través de aceite que llena al condensador. Su desplazamiento es sólo 0,1 mm como máximo. Cuando el circuito tiene un oscilador y un demodulador este transforma la variación de capacidad en señal analógica y que también se convierte a digital para pasar a un microprocesador transforma a la señal analógica.

Los sensores capacitivos son usados para detectar materiales, tanto metálicos como no metálicos, incluso líquidos. Su función de conmutación de salida puede ser normalmente abierta (NA), normalmente cerrada (NC), o antivalente (NA y NC).

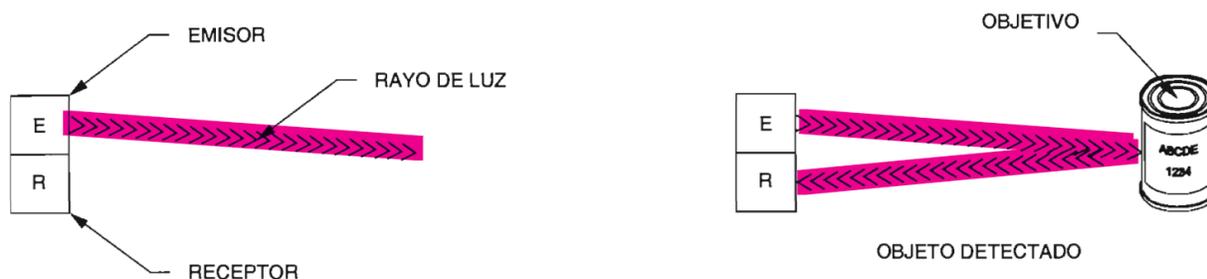
Sensores fotoeléctricos

El funcionamiento de los sensores fotoeléctricos se basa en que se emite una luz desde un transmisor, y la detección se basa en la cantidad de luz que llega al receptor, la detección se la realiza sin que el sensor este en contacto con el objeto. En el caso de los sensores fotoeléctricos de reflexión difusa el emisor y el receptor se encuentran contenidos en una misma caja, el emisor proyecta un rayo de luz y cuando el objeto se atraviesa por este, refleja la luz de vuelta al receptor como se muestra en la figura 14. Puede detectar diferentes tipos de materiales ya sean metálicos, no metálicos o líquidos. Su funcionamiento puede variar de acuerdo al lugar de trabajo donde sean conectados, las reflexiones desde cualquier fondo de atrás de la posición del objetivo deben proporcionar un margen de operación lo más cercano al cero. Cuando el fondo de atrás del objetivo es muy reflectivo y está cercano al objetivo, detectar el objetivo sin detectar el fondo puede llegar a ser muy difícil, además, las superficies muy oscuras y sin brillo pueden absorber la mayoría de la luz y reflejar muy poca para la detección. Estos objetivos son muy difíciles de detectar a menos que se coloque el sensor muy cerca de estos. (Lab-Volt, 2001)

Estos sensores como se menciona necesitan mayores condiciones adecuadas para su correcto funcionamiento pues dependen de la luz para ser más precisos en su detección.

Figura 14

Sensor fotoeléctrico reflectivo



Nota. Tomado de (Lab-Volt, 2001)

Luego de analizar los dos sensores presentados se procede a aplicar el método cualitativo por puntos para realizar la selección del más óptimo para la aplicación que se necesita.

Tabla 4

Selección del sensor de vacío de las tolvas

Factor	Peso	Sensor capacitivo		Sensor fotoeléctrico	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Adaptabilidad al ambiente de trabajo	0.3	8	2.4	5	1.5
Rango de medición	0.25	7	1.75	7	1.75
Forma y diseño	0.25	8	2	8	2
Materiales de detección	0.2	8	1.6	7	1.4
Total	1		7.75		6.65

La tabla 4 muestra que el sensor capacitivo con una puntuación de 7.75 es el más adecuado para el presente el sistema de mezclado, principalmente porque este es más adecuado para las condiciones del lugar de trabajo.

Selección del PLC

Para escoger el PLC para el sistema de mezclado se tomará en cuenta a dos PLC de la familia de Siemens estos son el PLC Logo V8.3 y el PLC S7-1200

PLC Logo V8.3

Este PLC es el autómata más pequeño que fabrican, es diseñado y utilizado para realizar automatizaciones domésticas o pequeñas aplicaciones industriales, lo cual lo vuelve económico para su compra, aunque parezca pequeño, posee grandes características en cuanto a hardware y software, en cuanto a entradas y salidas este cuenta con 8 entradas digitales, 4 de ellas pueden ser usadas como analógicas y 4 salidas tipo relé, además, posee módulos de expansión que permiten ampliar sus conexiones. Para su programación utiliza su propio software el cual es muy gráfico y fácil de usar, cuenta

con conexión ethernet y una pequeña pantalla lcd. Su precio oscila entre 170 a 200 dólares. (Fernández, 2017)

PLC S7-1200

El PLC S7-1200 es un controlador compacto con el que se puede realizar tareas de producción sencillas, pero de alta precisión. Tiene un diseño, escalable y flexible, reduce los requisitos de espacio en el tablero de control. Su programación es sencilla y se la puede realizar en diferentes softwares como lo son: STEP 7 Basic y Tia Portal. Cuenta además con IOS integradas, interfaz integrada, PROFINET para programación, conexiones HMI, IOS distribuidas y arquitecturas de unidades distribuidas, también es adaptable según los procesos, ya que cuenta con módulos de señal enchufables, así como también por sus módulos de comunicación. En cuanto al costo su valor oscila entre 450 a 700 dólares, dependiendo las versiones del controlador. (Autycom, 2021)

Una vez conocidos los detalles en la tabla 5 se seleccionará el PLC adecuado para este el control del sistema de mezclado.

Tabla 5

Selección de PLC

Factor	Peso	PLC Logo		PLC S7-1200	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Costo	0.4	9	3.6	7	2.8
Tamaño compacto	0.3	8	2.4	7.5	2.25
Ampliación de módulos	0.3	8	2.4	9	2.7
Total	1		8.4		7.75

La tabla 5 muestra que el PLC con mayor puntaje es el PLC Logo, el cual cumple mejor el factor con mayor ponderación que es el costo, y al ser compacto y poseer ampliación de módulos es el más adecuado para este el control del sistema.

Diseño mecánico de la mezcladora

Para el diseño de la mezcladora se tiene en cuenta los siguientes parámetros:

- Forma de la tolva: la forma de la tolva es esencial al momento de diseñarla ya que depende factores como el espacio en donde se va a colocar y el tipo de material a mezclar.
- Diseño de la tolva mezcladora: en este punto se realiza el cálculo del volumen de la tolva, además del espesor del material a ocupar que en nuestro caso es el acero inoxidable 304 debido a que el material a mezclar es corrosivo.
- Diseño del mecanismo de mezclado: luego de tener el diseño de la tolva se procede a realizar el diseño del mecanismo mezclador en el cual primero se busca la mejor opción para posteriormente realizar los cálculos correspondientes.

Forma de la tolva

Basándonos en los tipos de mezcladoras que existen y que se explican más a detalle en el punto 2.3 del escrito se realizó una tabla con el método cualitativo por puntos antes mencionado tomando en cuenta la orientación de las máquinas mezcladoras siendo estas horizontales o verticales.

Máquinas horizontales

Son diseñadas para la elaboración mezclas a base de harinas, de granos, pastas, concentrados u líquidos, su forma es alargada en el eje horizontal como se muestra en la figura 15.

Existen dos tipos de mezcladoras horizontales, de listones (cintas) y paletas. (Molinos Azteca, 2015)

En cuanto a espacio las máquinas horizontales como su nombre lo indican ocupan mayor espacio de forma horizontal por lo que permiten tener mayor altitud para los demás componentes del sistema de mezclado. Además, de ser muy usados para la mezcla de granos o polvos.

Figura 15*Máquinas mezcladoras horizontales*

Nota. La figura muestra una mezcladora horizontal la cual está formada por una parte rectangular y una forma circular. Tomado de (Molinos Azteca, 2015)

Máquinas verticales

Estas mezcladoras fueron diseñadas para la mezcla materiales a base de harinas de grano, pastas y concentrados donde no está considerada la aplicación de ningún líquido ya que se precipita a la parte inferior de la máquina, dañando sus rodamientos.

Existen dos tipos de mezcladoras verticales como se observa en la figura 16, las de tolva giratoria y tolva al piso las de tolva al piso son las ideales para la fabricación de alimento en grandes cantidades sin cambio de fórmula, y las de tolva giratoria fueron diseñadas para cuando se tienen cambios de mezclas constantemente y se requiere dar una limpieza constante.(Molinos Azteca, 2015)

En cuanto a tamaño las maquinas verticales ocupan mayor espacio en cuanto a altura como su nombre lo indica y necesitan mayor potencia para su funcionamiento.

Figura 16

Máquina mezcladora vertical



Nota. el ítem a es tolva al piso y el ítem b es una giratoria. Tomado de (Molinos Azteca, 2015)

Para la elección de la forma de la tolva se realizó la siguiente tabla:

Tabla 6

Selección de la forma de la tolva mezcladora

Factor	Peso	Máquinas horizontales		Máquinas verticales	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Espacio de trabajo	0.3	8	2.4	5	1.5
Costo	0.3	8	2.4	8	2.4
Conexión con actuadores	0.2	9	1.8	7	1.4
Mecanismo de mezclado	0.2	9	1.8	6	1.2
Total	1		8.4		6.5

Después de obtener los datos mostrados en la tabla 2 se llega a la conclusión de que va a tener una forma horizontal referencial a la de la figura 15, ya que esta tiene el valor más alto de puntaje principalmente por su espacio de trabajo y su costo.

Diseño de la tolva mezcladora

Selección del material para la tolva

Debido a que los materiales utilizados para realizar las mezclas son corrosivos se necesita un acero el cual sea anticorrosivo y de buenas propiedades de mecanizado para dar la forma necesitada de la tolva.

Dentro de la variedad de aceros inoxidable el más común en el mercado es el AISI 304 el mismo que posee las siguientes características:

- Alta resistencia mecánica.
- Apariencias higiénicas
- Bajo coste de mantenimiento.
- Reciclable.
- Buenas propiedades de mecanizado, doblado y plegado.
- Resistente a la temperatura.
- Gran capacidad de soldabilidad.

Por las cuales se ha elegido este acero para la construcción de las tolvas y porque es el más fácil de encontrar en el mercado.

El diseño de la tolva mezcladora parte de varios parámetros de los cuales el primero de ellos es el tamaño de la carga que va a soportar. En este caso a la tolva van a llegar diferentes componentes de una mezcla los cuales van a completar hasta un máximo más o menos de 500 kg.

El segundo parámetro a tomarse en cuenta es la densidad relativa máxima de la carga que recibe la tolva mezcladora en donde en la siguiente tabla tenemos las densidades de cada uno de los componentes de las mezclas:

Tabla 7

Densidades de los elementos utilizados en las mezclas

Nombre del componente	Densidad($\frac{kg}{m^3}$)	Tamaño promedio del granulo (mm)	Color
Blaurkon	1150 – 1200	2 - 4	Azul
Novatek	1150 – 1200	2 - 4	Morado
Muriato de potasio	1150 – 1200	2 - 4	Rojo
DAP 18-46-00	915	3 - 4	Café
YaraLiva Nitrador	1150 – 1200	2 - 4	Blanco
Humita	850	3 - 3.6	Café
YaraBela Nitromag	1175	2 - 4	Crema
Micronfos	1320	3 - 5	Azul
Yara Abotek	900 – 1200	2 - 4	
YaraMila Rafos	1150 - 1250	2 - 4	Crema

Nota. Los componentes mostrados son los que la empresa utiliza en sus diferentes mezclas las mismas que dependen del stock que tengan ya que algunas tienen los mismos componentes, pero son de diferentes empresas.

Como podemos observar en la tabla 2 la densidad de cada material utilizado en las mezclas es diferentes por lo que para el diseño de la tolva se ha tomado el valor promedio de densidad para que esta sea la máxima carga relativa que pueda recibir en este caso el promedio es $1091 \frac{kg}{m^3}$.

El tercer parámetro tomado en cuenta fue el nivel que la mezcladora se debe llenar para poder realizar la mezcla. Para garantizar un funcionamiento óptimo de la máquina se ha determinado que el nivel llegue hasta un 80% de la altura para evitar el sobrellenado de la misma.

Tabla 8

Datos necesarios para los cálculos de la tolva mezcladora

Capacidad de carga (kg)	Densidad del material a mezclar ($\frac{kg}{m^3}$)	Nivel de llenado (%)
500	1091	80

Después de obtener los datos necesarios que se muestran en la tabla 8, mediante el uso de la ecuación 1 se procede a realizar los cálculos para el volumen y la forma de la tolva mezcladora

Datos:

$$m = 500 \text{ kg}$$

$$d = 1091 \frac{kg}{m^3}$$

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

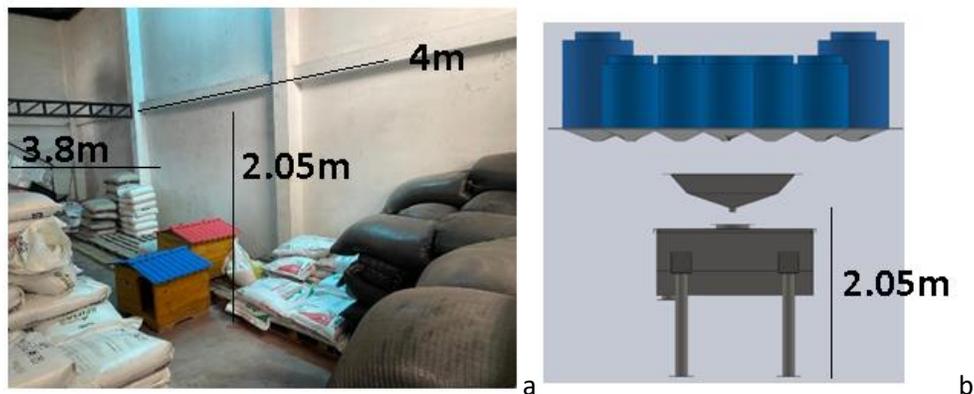
$$V = \frac{500kg}{1091 \frac{kg}{m^3}}$$

$$V = 0.46 \text{ m}^3$$

Después de obtener el volumen que ocupa el material se procede a dar valores mediante un software CAD basándose en la forma de la figura 17 la cual tiene una parte rectangular y una semi circular. Estas medidas se dan de acuerdo al espacio que tenemos en el lugar que se va a colocar la máquina, exista un espacio en la parte superior para la colocación de los demás componentes como lo son la tolva de pesaje, válvulas y actuadores de las tolvas de alimentación.

Figura 17

Espacio para colocación de la mezcladora



Nota. En la figura a se observa el espacio que se tiene en el lugar donde se va a colocar la mezcladora de fertilizantes y la figura b muestra la altura que necesita la mezcladora.

Después de tomar en cuenta el espacio se utilizaron las siguientes medidas:

$b=1900\text{mm}$

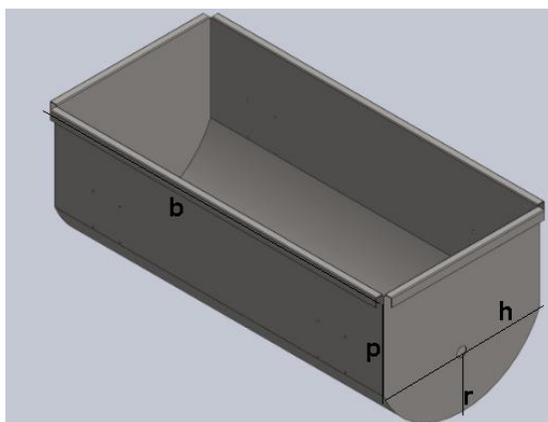
$h=900\text{mm}$

$p=500\text{mm}$

$r= 487.5\text{mm}$

Figura 18

Identificación de las medidas de la tolva



La tolva indicada en la figura 18 se realizó con un sobredimensionamiento para tener espacio necesario para el mecanismo mezclador y para cumplir con el parámetro 3 del nivel al 80 % para evitar el sobrellenado

Con estas medidas se realizan los cálculos para encontrar el volumen completo de la tolva con la ayuda de las ecuaciones 2, 3 y 4 donde V_t es el volumen total, V_1 es el volumen de la parte rectangular y V_2 es el volumen de la parte semicircular:

$$V_t = V_1 + V_2 \quad (2)$$

$$V_1 = b * h * p \quad (3)$$

$$V_2 = \frac{\pi * r^2 * b}{2} \quad (4)$$

Resolviendo la ecuación 3:

$$V_1 = 1900mm * 900mm * 500mm$$

$$V_1 = 855000000 \text{ mm}^3$$

$$V_1 = 0.855 \text{ m}^3$$

Se resuelve posteriormente la ecuación 4

$$V_2 = \frac{\pi * 487.5^2 \text{ mm}^2 * 1900 \text{ mm}}{2}$$

$$V_2 = 709288172.6 \text{ mm}^3$$

$$V_2 = 0.71 \text{ m}^3$$

Reemplazando estos valores en la ecuación 2 se tiene:

$$V_t = 0.855 \text{ m}^3 + 0.71 \text{ m}^3$$

$$V_t = 1.565 \text{ m}^3 \quad (5)$$

En la ecuación 5 el volumen máximo que la tolva soporta será de 1.565 m^3 comparando este valor con el valor obtenido en la ecuación 1 que es de 0.45 m^3 se puede decir que la tolva es segura para esa cantidad de material.

Cálculo de la potencia requerida para el motor.

Para la selección del motor se ha basado en la potencia de consumo de un agitador de cintas helicoidales suponiendo que el material se comporta como un fluido no newtoniano por lo cual se tiene una viscosidad aparente basada en la densidad del material la misma que fue determinada en la tabla 7 escogiendo la densidad común que en este caso es $1200 \frac{kg}{m^3}$.

La viscosidad aparente para esta densidad según (Begambre et al., 2020) es de 300 Pa*s

La fórmula utilizada para encontrar la potencia requerida por el motor es:

$$P = K_l * n^2 * D_a^3 * \mu_{aparente} \quad (6)$$

Donde:

K_l = coeficiente para procesos de agitación tomado de la figura 19

n = velocidad de giro

D_a = diametro de tolva (h)

$\mu_{aparente}$ = viscosidad aparente

Figura 19

Coefficientes para procesos de agitación

Tipo de impulsor	K_L	K_T
Impulsor hélice, tres palas		
Paso 1.0 ⁴³	41	0.32
Paso 1.5 ³⁷	48	0.87
Turbina		
Disco de seis palas ³⁷ ($S_3 = 0.25, S_4 = 0.2$)	65	5.75
Seis palas inclinadas ⁴² ($45^\circ, S_4 = 0.2$)	—	1.63
Cuatro palas inclinadas ³⁷ ($45^\circ, S_4 = 0.2$)	44.5	1.27
Paleta plana, dos palas ⁴³ ($S_4 = 0.2$)	36.5	1.70
Impulsor HE-3	43	0.28
Cinta helicoidal	52	—
Ancla ³⁷	300	0.35

Nota. La figura muestra los coeficientes usados en diferentes procesos de agitación que en el caso del presente del sistema de mezclado es por medio de cinta helicoidal. Tomado de (McCabe et al., 2007)

La velocidad de giro n recomendada para la mezcla de gránulos debe ser lenta por lo que se optó por usar una velocidad promedio de las máquinas mezcladoras existentes igual a 60 rpm o 1 rps.

En el caso del valor del diámetro de la tolva se va a asumir el 62% del mismo ya que es el volumen que ocupa el material a carga máxima que serían 10 quintales aproximadamente y que es la parte que va a estar en contacto con las hélices.

Con el diámetro al 100%

$$V = \pi * r^2 * b \quad (7)$$

$$V = \pi * 0.45^2 m^2 * 1.9m$$

$$V = 1.2 m^3$$

Se puede notar que el volumen excede al que el material ocupa que en este caso es $0.45m^3$

Diámetro al 62%

$$D_a = 0.9m * 62\% = 0.56m$$

$$r = \frac{0.56}{2} = 0.28$$

$$V = \pi * 0.28^2 m^2 * 1.9m$$

$$V = 0.467m^3$$

Como se puede notar al usar el 62% del diámetro total podemos llegar al volumen real ocupado por el material.

Para poder utilizar la ecuación 6 primero se determina el número de Reynolds para verificar que el flujo del material sea laminar utilizando la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{D_a^2 * n * \rho}{\mu_{aparente}} \quad (8)$$

Según, (McCabe et al., 2007), para que un flujo sea laminar el número de Reynolds debe ser menor a 2100 por lo que reemplazando los valores:

$$Re = \frac{(0.56)^2 m^2 * 1 \frac{r}{s} * 1200 \frac{kg}{m^3}}{300 Pa * s}$$

$$Re = 1.26$$

Se puede decir que el flujo es laminar ya que el número de Reynolds es menor a 2100

Reemplazando la ecuación 6 tenemos:

$$P = 52 * 1^2 \left(\frac{rev}{s}\right)^2 * (0.56)^3 m^3 * 300 Pa * s$$

$$P = 2739.60 W$$

$$P = 2.739 KW$$

$$P = 3.68 HP$$

(9)

Como se observa en la ecuación 9 la potencia necesaria del motor para mover el material es de 3.68 HP por lo que se optó por utilizar un motor comercial del catálogo Weg figura 20, monofásico de 5 HP a 220 V.

Figura 20

Selección de motor monofásico

Potência nominal		Carcaça	Conjugado Nominal (kgm)	Corrente com Rotor Bloqueado Ip/in	Conjugado de Partida Cp/Cn	Conjugado Máximo Cmáx/Cn	Momento de Inércia J (kgm²)	Tempo máximo com rotor bloqueado (s)	Massa (kg)	Nível médio de pressão sonora dB(A)	RPM	% de carga						Corrente Nominal In (A)	
cv	kW											Rendimento			Fator de Potência			220 V	440 V
												50	75	100	50	75	100		
II polos																			
0,16	0,12	63	0,034	5,9	2,0	2,9	0,0002	6	10,0	50	3490	35,8	44,4	49,9	0,52	0,60	0,68	1,61	0,804
0,25	0,18	63	0,050	6,1	2,2	2,8	0,0003	6	10,7	50	3490	42,3	50,8	55,8	0,51	0,61	0,69	2,12	1,06
0,33	0,25	63	0,070	5,5	2,9	3,2	0,0002	6	10,7	50	3490	42,5	51,6	57,2	0,44	0,54	0,62	3,20	1,60
0,5	0,37	71	0,102	7,2	2	3,1	0,0005	7	13,0	60	3520	51,7	59,9	64,2	0,53	0,64	0,72	3,64	1,82
0,75	0,55	80	0,152	7,7	2,1	3	0,0008	10	16,5	65	3525	58,8	67,9	72,8	0,77	0,85	0,91	3,78	1,89
1	0,75	80	0,208	7,0	2,3	2,7	0,0009	9	17,5	65	3520	58,0	66,0	71,0	0,75	0,83	0,88	5,46	2,73
1,5	1,1	90S	0,303	9,1	2,1	2,9	0,0020	9	24,0	69	3535	70,8	77,2	79,8	0,79	0,87	0,91	6,88	3,44
2	1,5	90L	0,415	8,4	2,1	2,7	0,0022	8	25,0	69	3520	68,4	74,9	77,7	0,83	0,89	0,92	9,54	4,77
3	2,2	100L	0,608	8,7	2,3	3	0,0064	9	37,0	72	3525	72,7	79,2	81,8	0,97	0,98	0,98	12,5	6,24
4	3	112M	0,830	8,0	2,6	2,5	0,0081	6	45,0	72	3520	77,4	81,6	82,1	0,96	0,97	0,98	16,9	8,47
5	3,7	112M	1,02	8,0	2,6	2,5	0,0091	6	47,0	72	3525	81,0	82,3	83,4	0,93	0,96	0,97	20,8	10,4
6	4,5	112M	1,25	7,5	2,4	2,7	0,0091	6	47,0	72	3500	79,0	83,0	84,0	0,97	0,98	0,98	24,8	12,4
7,5	5,5	132S	1,52	8,5	2,8	2,9	0,0234	5	69,0	72	3515	74,7	80,2	82,4	0,92	0,95	0,96	31,6	15,8
10	7,5	132M	2,07	8,0	2,2	3,1	0,0223	8	70,0	72	3525	80,9	82,9	83,9	0,83	0,90	0,94	43,2	21,6
12,5	9,2	132M	2,55	8,8	1,9	3	0,0285	7	79,0	72	3515	86,0	88,2	88,3	0,94	0,96	0,97	48,8	24,4
15	11	132ML	3,04	8,5	2,2	3,5	0,0339	6	92,0	72	3530	84,7	87,7	88,5	0,89	0,94	0,95	59,4	29,7

Carcaças Opcionais

Nota. En la figura se puede observar la selección del motor Weg el cual tiene una carcasa 112M la misma que tiene una protección IP55. Tomado de

Se consideró un motor monofásico con condensador de arranque ya que el lugar donde se instaló la máquina no posee conexión trifásica y para que pueda romper la inercia del material.

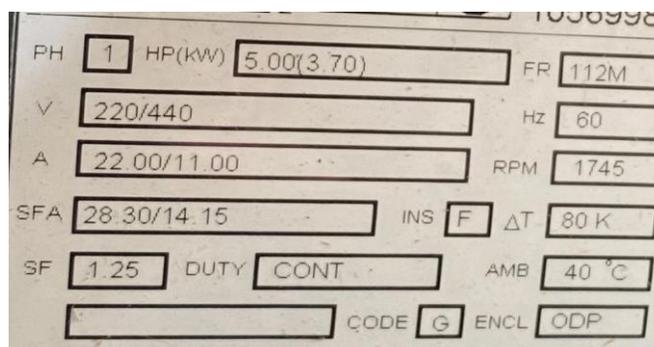
Mecanismo de transmisión de velocidad

La transmisión de velocidad del motor hacia el eje se realizará mediante una caja reductora de velocidad a una catalina la cual, estará conectada al eje mediante una cadena hacia un piñón, esto con el objetivo de obtener una velocidad de 60 RPM que es la necesaria para realizar la mezcla de fertilizantes.

El motor seleccionado nos entrega una velocidad de 1745 RPM como se muestra en la placa de datos, figura 21.

Figura 21

Placa de datos del motor seleccionado



La primera etapa de reducción se la realiza mediante una caja reductora a 120RPM. La caja reductora se seleccionó mediante catálogo como se muestra en la figura 21. No se realiza la reducción directa a 60RPM, puesto que comercialmente no se encuentran las cajas reductoras con estas características, y de encontrarse su costo es muy elevado.

Primero se calcula la relación de reducción i con el que se buscará en el catálogo utilizando la ecuación 10

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (10)$$

Donde:

i es la relación de reducción

n_1 es la velocidad de entrada

n_2 es la velocidad de salida

$$i = \frac{1745}{120} = 14.54$$

Con esta relación de reducción se procede a buscar en el catálogo una que este cerca de este valor, como se puede observar en la figura 22, se toma una $i=14$ y un $fs=1.13$ que está muy cercano al fs de la placa de datos que se observa en la figura 21 y es igual a 1.25, y una potencia de 4Hp igualmente cercana a la del motor a usarse, por lo tanto, se elige esta caja reductora para el sistema de mezclado.

Figura 22

Catálogo de cajas reductoras motive

ENDURO 4		input				output				INPUT B5 IEC 72-1								
relación nd i: nominal	relación nd i: real	kW	Hp	motor	n_1 [rpm]	fs	n_2 [rpm]	M_2 [Nm]	M_2 [Kgm]	63	71	80	90	110/112	132	160	180	200
20	20,3	0,55	0,75	80A-4	1400	4,69	69	72	7,2									
		0,75	1	80B-4	1400	3,44	69	98	9,8									
		1,1	1,5	80C-4	1400	2,35	69	143	14,4									
		1,1	1,5	90S-4	1400	2,35	69	143	14,4									
		1,5	2	90L-4	1410	1,73	69	195	19,7									
		1,9	2,6	90LB-4	1415	1,37	70	244	24,6									
18	18,4	0,75	1	80B-4	1400	4,82	76	89	8,9									
		1,1	1,5	80C-4	1400	3,29	76	130	13,1									
		1,1	1,5	90S-4	1400	3,29	76	130	13,1									
		1,5	2	90L-4	1410	2,43	77	175	17,6									
		1,9	2,6	90LB-4	1415	1,92	77	222	22,3									
		2,2	3	100LA-4	1420	1,67	77	256	25,9									
16	16,2	3	4	100LB-4	1420	1,22	77	350	35,3									
		0,75	1	80B-4	1400	3,93	86	78	7,9									
		1,1	1,5	80C-4	1400	2,68	86	115	11,6									
		1,1	1,5	90S-4	1400	2,68	86	115	11,6									
		1,5	2	90L-4	1410	1,98	87	155	15,6									
		1,9	2,6	90LB-4	1415	1,57	87	196	19,8									
14	14,2	2,2	3	100LA-4	1420	1,36	88	224	22,6									
		3	4	100LB-4	1420	1,00	88	306	30,9									
		0,75	1	80B-4	1400	4,47	98	69	6,9									
		1,1	1,5	80C-4	1400	3,05	98	101	10,2									
		1,1	1,5	90S-4	1400	3,05	98	101	10,2									
		1,5	2	90L-4	1410	2,25	99	136	13,7									
		1,9	2,6	90LB-4	1415	1,78	99	172	17,4									
		2,2	3	100LA-4	1420	1,54	100	197	19,9									
		3	4	100LB-4	1420	1,13	100	269	27,2									
		1,5	2	90L-4	1410	3,33	107	126	12,7									

Nota. Tomado de (Motive, n.d.)

Para la segunda parte de la reducción de 120RPM a 60RPM se la realiza mediante un sistema de engranajes como se debe reducir a la mitad la velocidad la relación de reducción se calcula mediante la ecuación

$$i = \frac{W_s}{W_e} = \frac{Z_e}{Z_s} \quad (11)$$

Donde:

W_s es la velocidad de salida

W_e es la velocidad de entrada

Z_e es el número de dientes del conductor

Z_s es el número de dientes del conducido

$$i = \frac{60}{120} = 0.5$$

Por lo tanto, se asumirá el número de dientes del engranaje del piñón conductor $Z_e=19$ dientes y se calcula el número de dientes de la rueda conducida, utilizando la ecuación 11

$$i = \frac{Z_e}{Z_s}$$

$$Z_s = \frac{Z_e}{i} = \frac{19}{0.5} = 38 \text{ dientes}$$

Se determina que el juego de engranajes para alcanzar la velocidad de 60RPM es de 38 dientes la rueda conducida y de 19 dientes el piñón conductor.

Diseño de las cintas helicoidales para el mezclado del fertilizante.

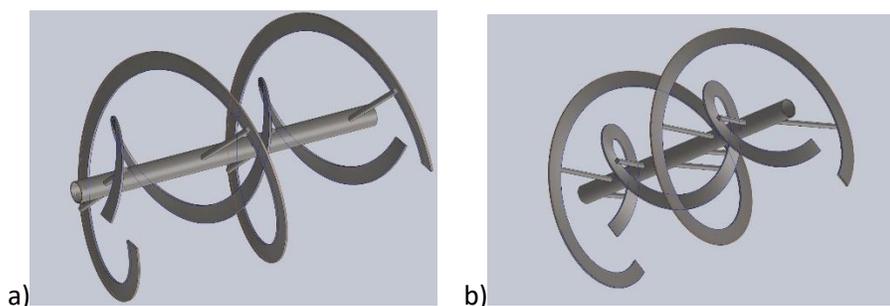
Para el diseño de la cinta helicoidal doble se ha basado el diseño de un transportador tornillo sin fin en donde los datos que se necesitan son el diámetro interior, exterior, el paso y el ángulo de inclinación inicial.

Para que el material tenga una mezcla homogénea se ha utilizado una doble hélice tipo cinta dividida en 4 partes. Como se puede observar en la figura 23 existen dos hélices mayores y dos hélices

menores, las mayores se encargan de llevar el material siempre al centro de la tolva y las menores las llevan hacia los lados de la tolva ayudando así a que el material se mezcle y que al momento de sacarlo no quede residuos en la tolva.

Figura 23

Doble hélice de cinta



Nota. En la parte a de la figura el ángulo de inclinación permite que el material se mueva hacia la derecha y regrese a la izquierda, mientras que en la parte b se mueve hacia la izquierda y regresa hacia la derecha.

Para el diámetro exterior e interior de las hélices mayores se toma en cuenta el diámetro de la tolva y el tamaño de la platina comercial

Para el diámetro exterior de las hélices mayores se tomó un tamaño de 0.64 m basado en el 70% del diámetro de la tolva quedando un espacio entre la tolva y la hélice de 0.13 m espacio suficiente para que el material no se atranque al momento de ser mezclado y que tampoco se pulverice.

Se ha usado una platina de tamaño comercial de 75mm de ancho y 6mm de espesor con lo cual el diámetro interior de la hélice mayor es de 490mm.

Según (Rodríguez, 2021) el paso de los transportadores está comprendida entre 0.5 y 1 veces la medida del diámetro mismo por lo que se ha utilizado un paso de 460mm tanto para las hélices mayores como las menores.

La inclinación inicial del canalón es de 45 grados.

Para las hélices menores su diámetro es de 350mm con un ángulo opuesto al de las hélices mayores, pero igual de 45 grados para que el movimiento sea contrario al que realiza las mayores.

Diseño del eje de la mezcladora

Para el diseño del eje de la mezcladora se calcula los diámetros del mismo de acuerdo a las fuerzas a las que este estará sometido y posteriormente se realizará el dibujo en el software inventor para comprobar que estos diámetros son los correctos.

Se toma en cuenta que el eje estará apoyado sobre dos chumaceras ubicadas como se observa en la figura 25, y estará accionado por un piñón y una cadena que están acopladas a un motor cuya potencia máxima es de 5Hp (3.7KW) y una velocidad de 60 RPM

El eje de la mezcladora se realizará en acero inoxidable 304 el cual presenta las propiedades que se muestran en la figura 24

Figura 24

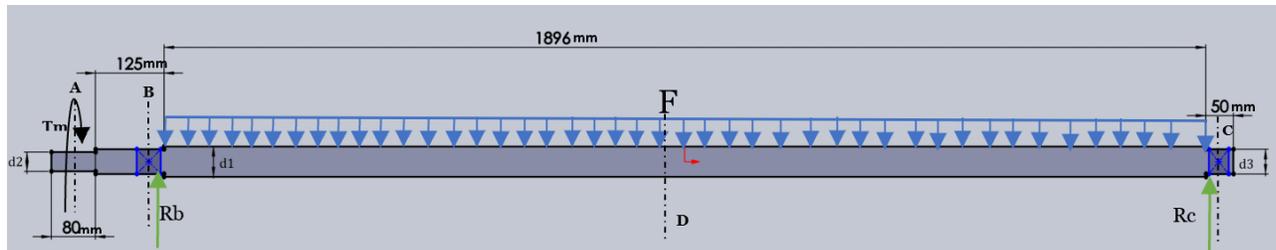
Propiedades mecánicas de aceros

Número	Material	Condición	Resistencia (a la tensión)					Resistencia a la deformación, exponente m	Resistencia a la fractura ϵ_f
			Fluencia S_y MPa (kpsi)	Última S_u MPa (kpsi)	A la fractura, σ_f MPa (kpsi)	Coefficiente σ_0 MPa (kpsi)			
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1) ^y	620 (90.0)	0.25	1.05	
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) ^y	992 (144)	0.14	0.49	
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106) ^y	758 (110)	0.24	0.85	
1045	Acero	TyR 600°F	1520 (220)	1580 (230)	2380 (345)	1880 (273) ^y	0.041	0.81	
4142	Acero	TyR 600°F	1720 (250)	1930 (210)	2340 (340)	1760 (255) ^y	0.048	0.43	
303	Acero inoxidable Acero	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1520 (221) ^y	1410 (205)	0.51	1.16	
304	Acero inoxidable Acero	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1600 (233)	1270 (185)	0.45	1.67	
2011	Aleación de aluminio	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2) ^y	620 (90)	0.28	0.10	
2024	Aleación de aluminio	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3) ^y	689 (100)	0.15	0.18	
7075	Aluminum aluminio	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102) ^y	882 (128)	0.13	0.18	

Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

Figura 25

Eje de la mezcladora



Como datos se tiene la potencia del motor (P_m), la velocidad angular (ω) y la fuerza distribuida (F)

$P_m = 5\text{Hp}$ (3.7Kw)

$$\omega = 60 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60\text{s}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} = \frac{2\pi \text{ rad}}{\text{s}}$$

Con los datos de la potencia y la velocidad angular podemos calcular el torque que transmite el motor al eje

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_m} = \frac{3.7 * 10^3 \left(\text{N} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)}{2\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$T_m = 588.87 \text{ N} \cdot \text{m}$$

F es una fuerza distribuida que abarca el peso del eje (W_e) que se obtiene a través de un software especializado y el peso de las hélices (W_h) que de igual forma se obtiene a través del software, por lo tanto, F es igual:

$$F = W_e + W_h$$

$$F = 380.44 \text{ N/m} + 431.2 \text{ N/m}$$

$$F = 811.64 \text{ N/m}$$

$$F = 811.64 \frac{\text{N}}{\text{m}} * 1.9 \text{ m} = 1542.12 \text{ N}$$

Con estos datos se procede a realizar los cálculos para definir los diámetros d_1 , d_2 y d_3 de la mezcladora.

Primero se realiza los diagramas de fuerzas cortantes, momentos flectores y torques, para ello se calcula todas las reacciones y momentos

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$R_B - F + R_C \quad (12)$$

$$R_B + R_C = 1542.12 \text{ N}$$

$$+\circlearrowleft \sum M_B = 0$$

$$-F(0.95m) + R_C(1.9m) = 0$$

$$-1542.12N(0.95m) + R_C(1.9m) = 0$$

$$\mathbf{R_C = 771.06N}$$

Se reemplaza R_C en la ecuación 12

$$R_B = 1542.12 \text{ N} - R_C$$

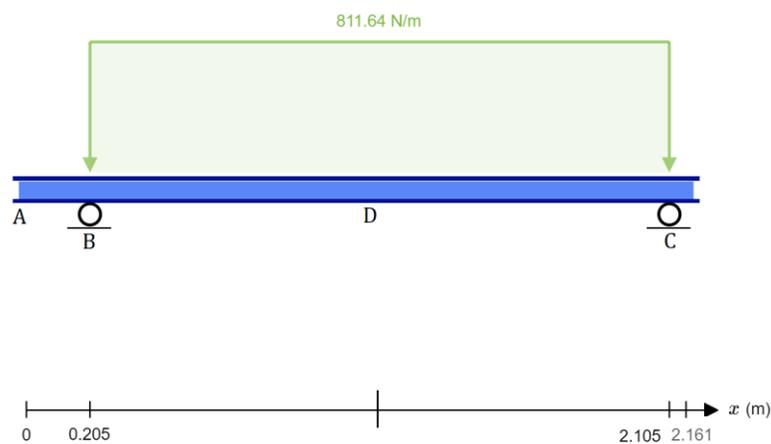
$$R_B = 1542.12N - 771.06N$$

$$\mathbf{R_B = 771.06N}$$

Una vez encontradas las reacciones se procede a realizar los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores

Figura 26

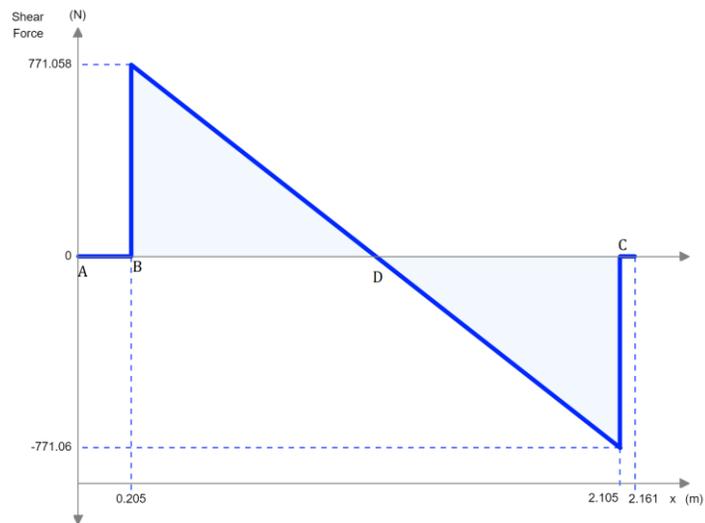
Diagrama de cuerpo libre



En la figura 27 se muestra el diagrama de fuerzas cortantes, de acuerdo a las recomendaciones cuando se tiene una carga distribuida

Figura 27

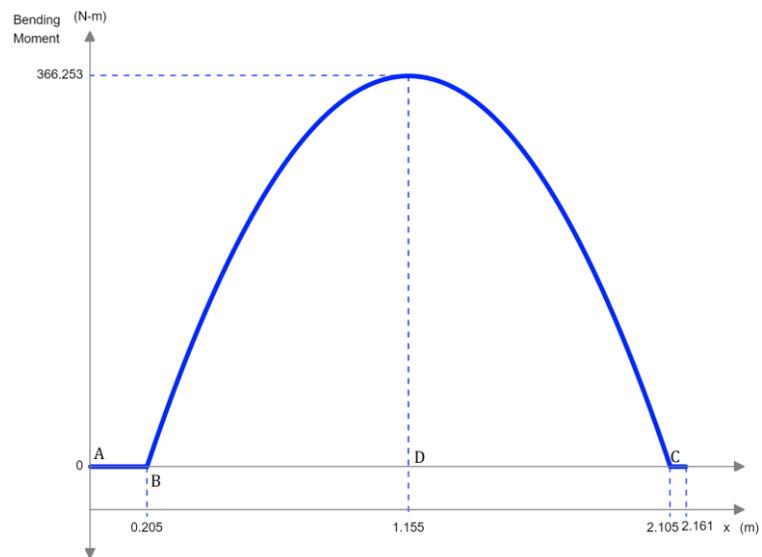
Diagrama de Fuerzas cortantes



De igual forma el diagrama de esfuerzo constantes se los gráfica como se muestra en la figura 28

Figura 28

Diagrama de Momentos Flectores



Como se puede observar en la figura 28 el punto más crítico es el punto D, por lo que es aquí donde se calcularán los esfuerzos y el diámetro de esta sección.

Primero se asume un diámetro de 50mm y se calcula los esfuerzos

$$\sigma_x = \frac{32(M_B)}{\pi(\phi_1)^3} = \frac{32(732.51 \text{ N.m})}{\pi(0.05 \text{ m})^3} = 59.69 \text{ MPa} \quad (13)$$

$$\tau_{xy} = \frac{16(T_m)}{\pi(\phi_1)^3} = \frac{16(366.25 \text{ N.m})}{\pi(0.05 \text{ m})^3} = 14.92 \text{ MPa} \quad (14)$$

Ahora se realiza el análisis de falla estática para ello se utiliza la teoría de la energía de distorsión representada en la ecuación 10, para ello se calcula el esfuerzo de Von Mises, mediante la ecuación 15

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (15)$$

$$\sigma' = \sqrt{59.69 \text{ MPa}^2 + 0^2 - 59.69 \text{ MPa}(0) + 3(14.92 \text{ MPa})^2}$$

$$\sigma' = 65.04 \text{ MPa}$$

$$\sigma' \geq \frac{FS}{S_y} \quad (16)$$

El factor de seguridad FS debe ser mayor a 3 para garantizar que el eje no falle estáticamente.

En el acero inoxidable 304 el S_y es igual a 276 MPa y el S_{ut} es igual a 568MPa

$$FS = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{276 \text{ MPa}}{65.04 \text{ MPa}} = 4.24$$

Como el FS es mayor a 3 se puede decir que con el diámetro asumido de 50mm el eje no fallara estáticamente, por lo tanto, se asignan a los otros diámetros los valores de $d_2=35\text{mm}$ y $d_3=45\text{mm}$

Ahora se procede a realizar el análisis de fallo por fatiga, para ello debemos encontrar el límite de resistencia a la fatiga S_e que está dado por la ecuación 11

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (17)$$

Donde:

- S'_e es el límite de fatiga

- k_a es el factor de superficie
- k_b es el factor de tamaño
- k_c es el factor de carga
- k_d es el factor de temperatura
- k_e es el factor de confiabilidad
- k_f es el factor de efectos diversos

$$S'_e = 0.5S_{ut} = 0.5(568\text{MPa})$$

$$S'_e = 284\text{MPa}$$

Procedemos a calcular el factor de superficie

$$k_a = aS_{ut}^b$$

Figura 29

Tabla de factor de superficie

Acabado superficial	$k_a = aS_{ut}^b, \text{LN}(1, C)$			Coeficiente de variación, C
	kpsi	MPa	b	
Esmerilado*	1.34	1.58	-0.086	0.120
Maquinado o laminado en frío	2.67	4.45	-0.265	0.058
Laminado en caliente	14.5	58.1	-0.719	0.110
Como sale de la forja	39.8	271	-0.995	0.145

Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

$$k_a = 4.45(568)^{-0.265}$$

$$k_a = 0.829$$

El factor de tamaño k_b se puede expresar de acuerdo como se muestra en la figura 30

Figura 30*Factor de tamaño*

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

$$k_b = 1.24d^{-0.107} = 1.24(50)^{-0.107}$$

$$k_b = \mathbf{0.816}$$

Para el factor de carga k_c al poseer una carga axial se toma el valor de 1. En el caso del factor de temperatura k_d igual se asume un valor de 1.

En el caso del factor de confiabilidad k_e se asume una confiabilidad de 99% y se obtiene el valor de 0.814 como se observa en la figura 31.

Figura 31*Factor de confiabilidad*

Reliability, %	Transformation Variate z_a	Reliability Factor k_a
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

Por último, para el factor de efectos diversos k_f también se asume un valor de 1 y se procede a reemplazar los valores de todos los factores en la ecuación 10

$$S_e = (0.829)(0.816)(1)(1)(0.814)(1)(284MPa)$$

$$S_e = 156.38 \text{ MPa}$$

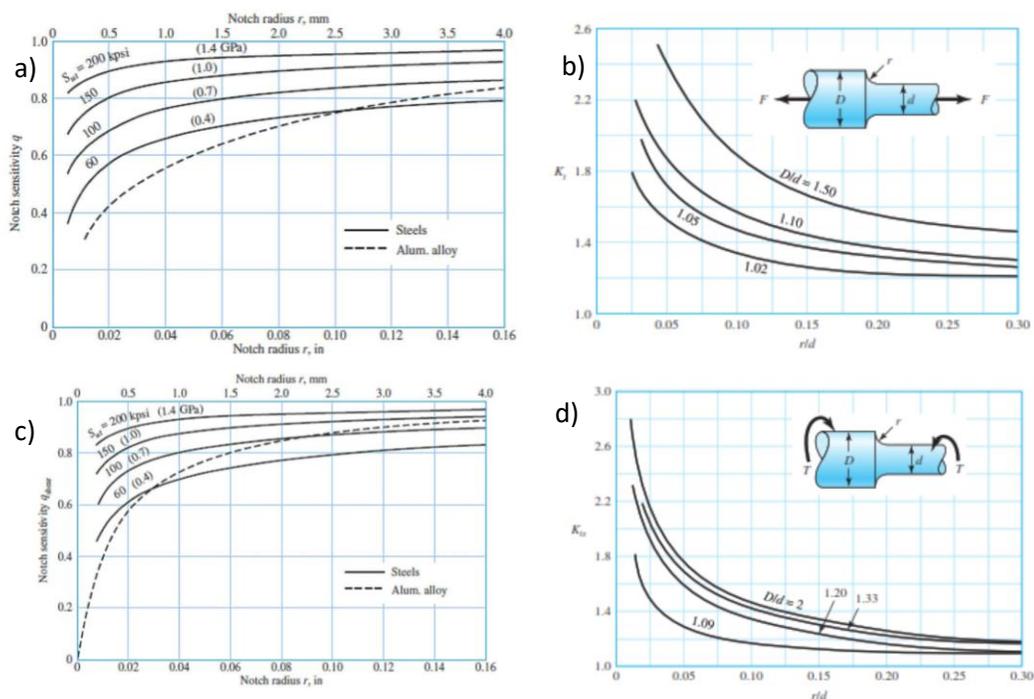
Ahora se procede a calcular la concentración de esfuerzos por fatiga K_f y la sensibilidad a la muesca q , estos se calculan mediante las ecuaciones 18 y 19

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (18)$$

$$K_{fS} = 1 + q_s(K_{tS} - 1) \quad (19)$$

Figura 32

Factores de concentración de esfuerzos y de sensibilidad a la muesca



Nota. En la figura se muestra en el literal a) la sensibilidad a la muesca de aceros sometidos a flexión y cargas axiales, en el literal b) la concentración de esfuerzos de igual forma para aceros sometidos a flexión y cargas axiales, los literales c) y d) muestran la sensibilidad a la muesca y la concentración de esfuerzos respectivamente, pero para aceros sometidos a torsión. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

De acuerdo a la figura 32 los valores de K_t , K_{ts} , q y q_s asumiendo $D=50\text{mm}$, $d=45$ y $r=0.5$ son:

$K_t=1.92$, $K_{ts}=1.78$, $q=0.71$ y $q_s=0.78$, se reemplaza estos valores en las ecuaciones 18 y 19

$$K_f = 1 + 0.71(1.92 - 1)$$

$$\mathbf{K_f = 1.65}$$

$$K_{fs} = 1 + 0.78(1.78 - 1)$$

$$\mathbf{K_{fs} = 1.61}$$

Se calcula los esfuerzos fluctuantes mediante la ecuación 20 y 21

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (20)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (21)$$

Se reemplaza los valores del esfuerzo cortante en las ecuaciones 20 y 21

$$\sigma_m = \frac{59.69 + (-59.69)}{2} = 0$$

$$\sigma_a = \frac{59.69 - (-59.69)}{2} = 59.69$$

De igual forma se reemplaza los valores del esfuerzo cortante por flexión

$$\tau_m = \frac{14.92 - (-14.92)}{2} = 14.92$$

$$\tau_a = \frac{14.92 + (-14.92)}{2} = 0$$

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2} = \sqrt{59.69^2 + 3(0)^2}$$

$$\mathbf{\sigma'_a = 59.69 MPa} \quad (22)$$

$$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2} = \sqrt{0^2 + 3(14.92)^2}$$

$$\sigma'_m = 25.84 \text{ MPa} \quad (23)$$

A los valores obtenidos en las ecuaciones 22 y 23 se multiplican por los factores de concentración de esfuerzos.

$$\sigma_a = K_f * \sigma'_a = 1.65(59.69 \text{ MPa}) = 98.49 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = K_{fs} * \sigma'_m = 1.61(25.84 \text{ MPa}) = 41.61 \text{ MPa}$$

Estos valores de σ_a y σ_m se reemplazan en la ecuación de Goodman modificado ecuación 24

$$\frac{1}{FS} = \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} \quad (24)$$

Se debe obtener un factor de seguridad mayor a 1 para garantizar una vida infinita del eje

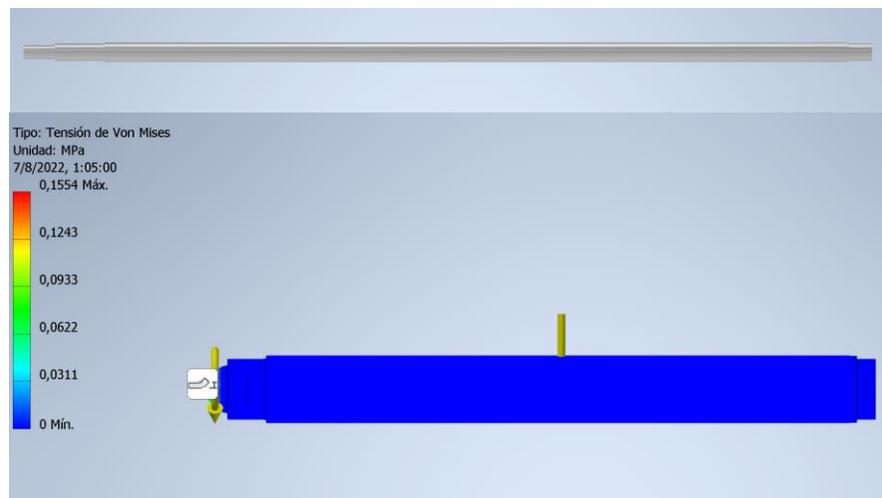
$$FS = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}} = \frac{1}{\frac{98.49 \text{ MPa}}{156.38 \text{ MPa}} + \frac{41.61 \text{ MPa}}{568 \text{ MPa}}}$$

$$FS = 1.42$$

Como se obtiene el factor de seguridad mayor a uno se concluye que los diámetros asumidos del eje son correctos y se procede a verificar estos datos en un software especializado como se muestra en la figura 33

Figura 33

Análisis del eje en software especializado



De acuerdo a la figura 33 el esfuerzo de Von Mises máximo es de 0.155MPa este se reemplaza en la ecuación 10 para comprobar que sea correcto

$$\sigma' \geq \frac{FS}{S_y}$$

$$0.155MPa \geq \frac{3.79}{276MPa}$$

$$0.155 \geq 0.013$$

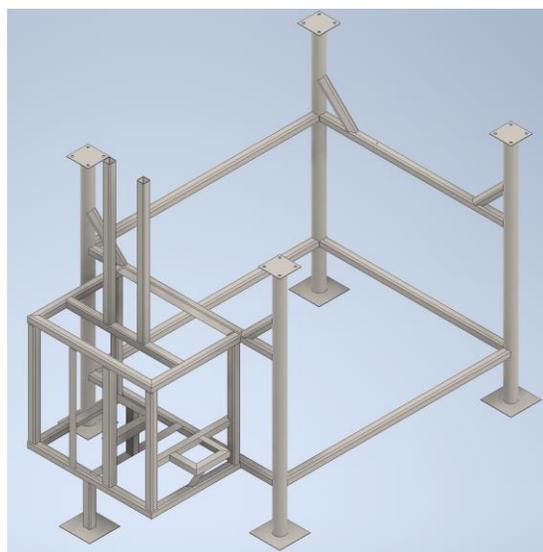
Con estos datos se comprueba que el dimensionamiento del eje es correcto.

Análisis estructural de la base de soporte de la tolva de mezclado.

Para el análisis de la estructura, esta se ha diseñado en un software especializado para a partir de este modelo aplicar la carga a la cual va a estar sometida la estructura, este diseño se lo ha realizado, usando materiales comerciales como es el tubo cuadrado de 40x40 de acero inoxidable 304 y el tubo redondo de 2 pulgadas y media. En la figura 34 se presenta el diseño de la estructura de la base de la tolva de mezclado.

Figura 34

Estructura de la base de soporte de la tolva de mezclado



Una vez realizado el modelado de la estructura se procede al realizar el análisis de esfuerzos en el software especializado para comprobar que esta estructura soporte el peso de la tolva de mezclado, el motor y demás accesorios del sistema. Para ello como se observa en la figura 35 se ha colocado los diferentes puntos fijos que tiene esta estructura los cuales se encuentran en la base de las 5 patas y en los dos soportes de la parte superior que van soldados a la tolva de mezclado, luego se ha colocado la fuerza en la cual se contempla el peso de la tolva de mezclado más el peso máximo de material que se va a mezclar, el peso del eje y las hélices dando como resultado el valor que se muestra en la ecuación 25.

$$F = Wt + Wm + We + Wh$$

Donde:

Wt es el peso de la tolva obtenidos mediante el software

Wm es el peso del material

We es el peso del eje obtenidos mediante el software

Wh es el peso de las hélices obtenidos mediante el software

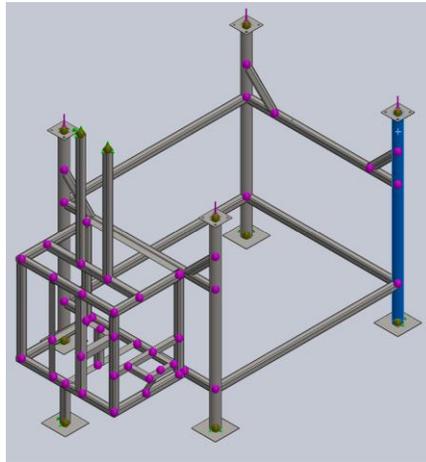
$$F = 981.47N + 9800N + 380.44N + 431.2N$$

$$F = \mathbf{11593.11 N} \quad \mathbf{(25)}$$

Esta fuerza obtenida se la ha dividido para los 4 puntos de apoyo donde se colocará la tolva de mezclado como se indica en la figura 35.

Figura 35

Análisis estructural en software especializado

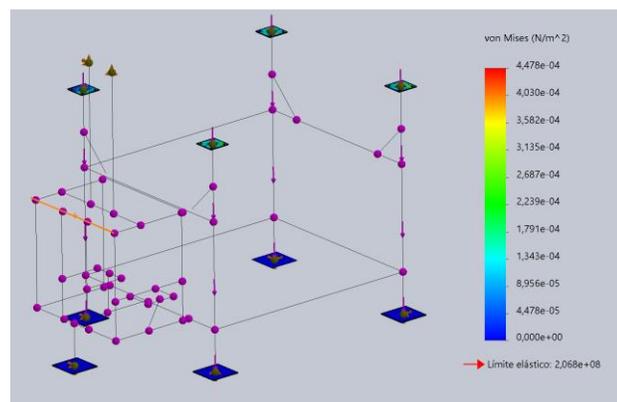


Una vez colocados todos los puntos de apoyo y las fuerzas se realiza el análisis estático de la estructura y se obtienen los siguientes resultados mostrados en la figura 36, mediante el uso de software especializado.

En la figura 36 se observa el límite elástico para el acero inoxidable 304 es 206.8 MPa y el valor máximo de Von Mises de la estructura es de 0.000478 N/m^2 , es decir no supera el límite elástico del material por lo que no sufrirá una deformación permanente con las cargas colocadas.

Figura 36

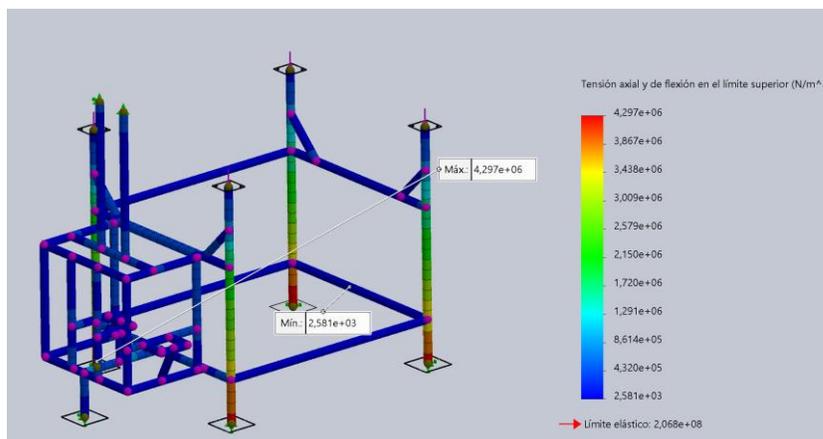
Análisis estructural utilizando esfuerzos de Von Mises



En la figura 37 se observa el límite elástico para el acero inoxidable 304 es 206.8 MPa y el valor máximo de Von Mises de la estructura es de 4.297 MPa, es decir no supera el límite elástico del material por lo que no sufrirá una deformación permanente con las cargas

Figura 37

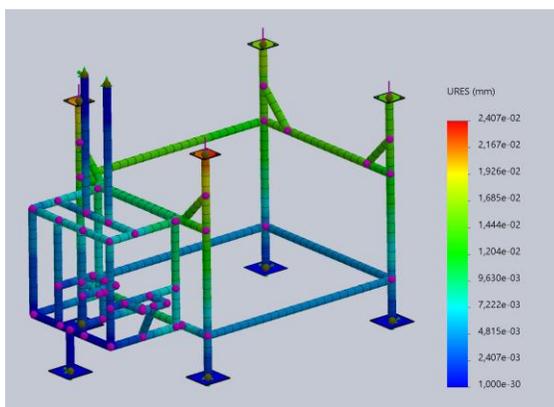
Análisis de tensión axial y de flexión en las vigas



En la figura 38 se observa que el máximo desplazamiento que se producirá es de 0.024 mm, es decir, no se produce un desplazamiento significativo para la estructura.

Figura 38

Análisis de desplazamientos

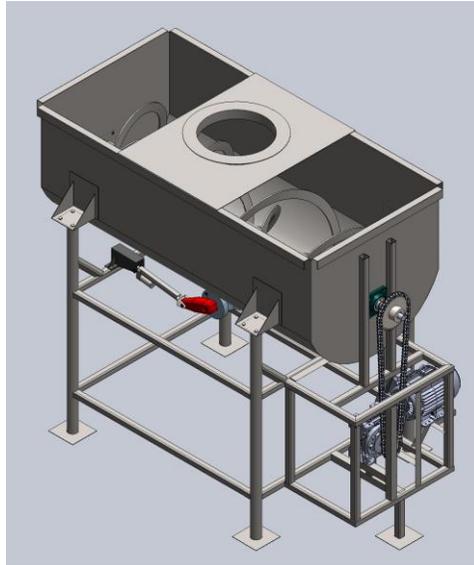


De acuerdo a los datos proporcionados en las figuras 36, 37 y 38 podemos concluir que el diseño de la estructura es el adecuado para poder soportar el peso de la tolva de pesaje y sus complementos.

Una vez realizado el diseño de todos los elementos de la mezcladora de fertilizantes tenemos como resultado el diseño final de la mezcladora que se muestra en la figura 39.

Figura 39

Diseño final de la mezcladora de fertilizantes



Dimensionamiento de la tolva de pesaje

Para la tolva de pesaje se tomará en cuenta un volumen de 3 quintales es decir 150Kg y se procederá a calcular el volumen necesario para este producto.

Datos:

$$m = 150 \text{ kg}$$

$$d = 1091 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V = \frac{m}{d}$$

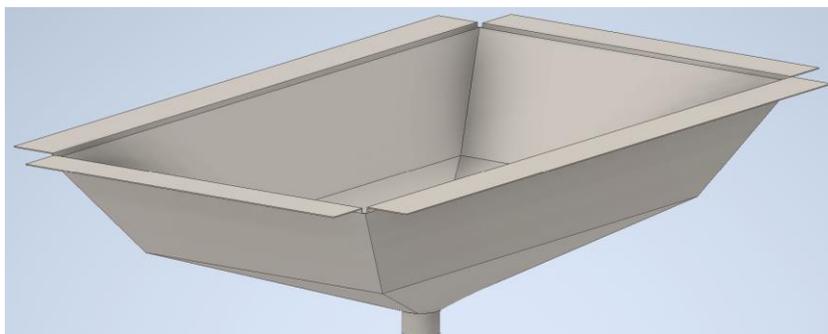
$$V = \frac{150 \text{ kg}}{1091 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V = 0.14 \text{ m}^3$$

Ya que se conoce el volumen necesario para el pesaje de 3 quintales se procede al diseño de la tolva de pesaje en el software especializado, como se muestra en la figura 40

Figura 40

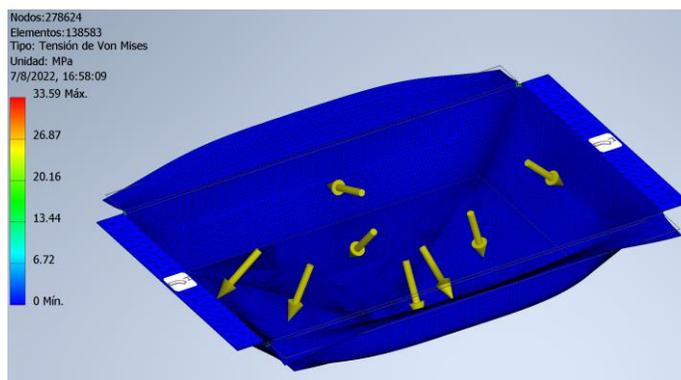
Diseño tolva de pesaje



Mediante software se obtiene que el volumen de la tolva de pesaje es de 0.245 m^3 siendo este volumen mayor al que necesita el producto, se toma un sobredimensionamiento de la tolva de pesaje para asegurar que este soporte el peso del material. Realizando el análisis estático mediante software también se puede comprobar que el diseño es el adecuado como se muestra en la figura 41

Figura 41

Análisis estático de la tolva de pesaje



Como se observa en la figura 41 el máximo esfuerzo de Von Mises es de 35.59 MPa es decir es menos al límite elástico que es de 206 MPa, y en la mayoría de la superficie el esfuerzo es casi 0 por lo que la tolva es adecuada para el pesaje del material.

Diseño de las tolvas del almacenamiento

Para las tolvas de almacenamiento se decidió utilizar tanques de polietileno plastigama, debido a la naturaleza abrasiva de los materiales y adaptarles un embudo de acero inoxidable 304 en la parte inferior como se muestra en la figura 42.

Figura 42

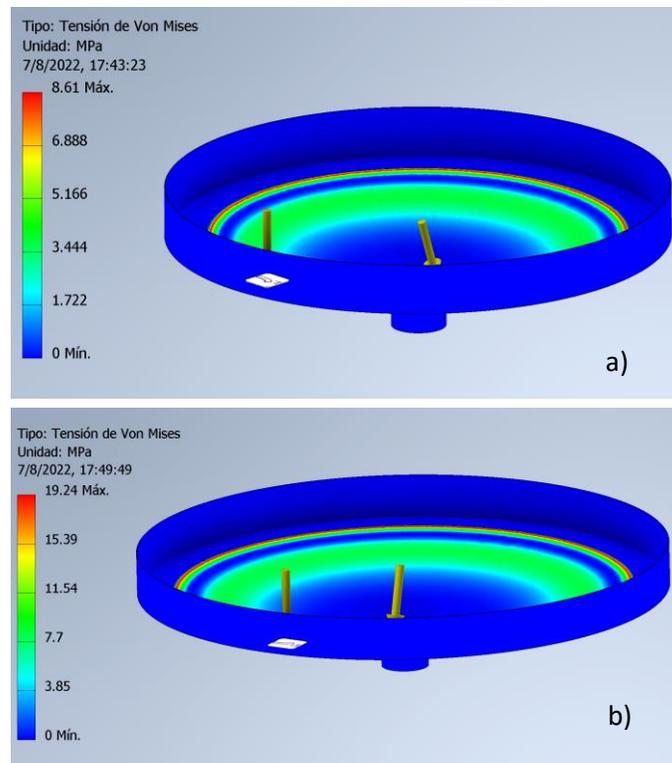
Diseño de tolva de almacenamiento



Se han diseñado dos embudos uno para tanques pequeños con capacidad de 5 quintales (250kg) y otro para tanques grande con capacidad de 10 quintales (500kg) se lo ha diseñado en acero inoxidable 304 y se comprobó su resistencia mediante software como se muestra en la figura 43. Para conocer las medidas de los embudos y los tanques revisar Anexo A.

Figura 43

Análisis estático de los embudos para las tolvas de almacenamiento



En el literal 43a podemos observar el análisis estático del embudo para tanques pequeños donde su máximo esfuerzo de Von Mises es de 8.61 MPa siendo menor al límite elástico de 206 MPa, al igual que en la figura 43b donde se observa el embudo de tanques grandes cuyo esfuerzo máximo de Von Mises es de 19.24 MPa.

Con todos los elementos necesarios del sistema de mezclado se tiene el diseño final de todo el sistema que se muestra en la figura 44

Figura 44

Diseño final del sistema de mezclado de fertilizantes



Diseño electrónico

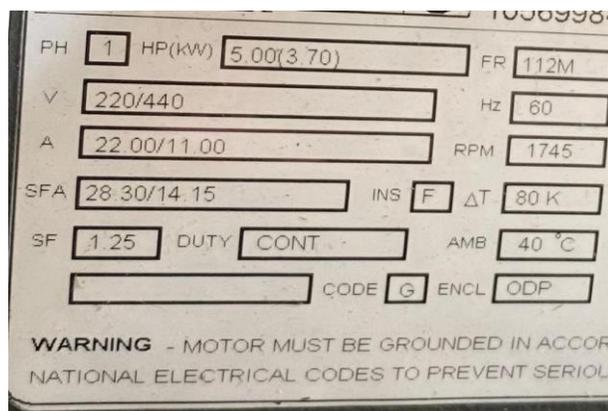
El diseño electrónico está conformado por una parte de potencia la cual se encarga de encender o apagar el motor monofásico y una parte de control la cual realiza la automatización del sistema de dosificación y pesaje.

Circuito de potencia

Para el circuito de potencia primero se debe tener en cuenta los datos que proporciona la placa del motor como se observa en la figura 45 para poder dimensionar correctamente la protección y el contactor que lo activará o desactivará.

Figura 45

Placa de datos del motor



Nota. Como se puede notar en la figura la corriente nominal del motor a 220 V es de 22 A.

Cálculo del interruptor termomagnético. Para poder calcular el amperaje necesario para el interruptor termomagnético se debe tener en cuenta las siguientes fórmulas:

$$I_{\text{interruptor}} = 125\% * I_{\text{nominal}} \quad (26)$$

$$I_{\text{interruptor}} = 125\% * 22 \text{ A}$$

$$I_{\text{interruptor}} = 27.5 \text{ A}$$

Como comercialmente se encuentran valores en rangos de 5 en 5 se ha optado por un interruptor termomagnético de 30 A.

Para la selección del contactor se debe tener en cuenta la alimentación de la bobina y el amperaje que soporta, buscando uno que sobrepase el amperaje nominal y como va a ser controlado por medio del PLC la bobina puede ser alimentada con 12,24 o 110V. La empresa Tiagro disponía de un contactor de la marca Steck con alimentación de la bobina de 110V y con un amperaje máximo de 32 A el mismo que tenía los datos mostrados en la figura 44.

Figura 46

Contactor para el motor monofásico

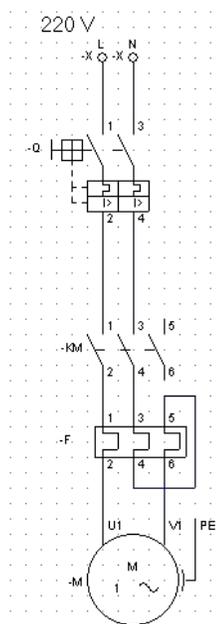


Como se observa en la figura 46 el contactor tiene una categoría de empleo AC3 el mismo que se aplica a motores trifásicos, pero también se puede acoplar a un motor monofásico como se muestra en el siguiente diagrama de conexión.

Diagrama de conexión. Para el diagrama de conexión se ha utilizado el programa CadeSimu y se ha realizado una programación para realizar pruebas de encendido y apagado del motor sin tomar en cuenta aun la programación final para el mezclado del material. Figura 47

Figura 47

Diagrama de potencia del motor

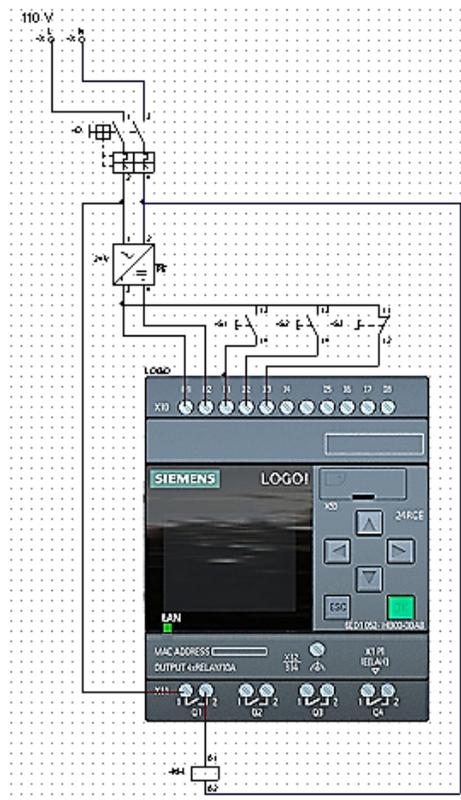


Al ser un contactor trifásico y, el motor monofásico tener solo dos líneas se realiza un puente de la línea 2 a la línea 3 del contactor.

En la parte del control del motor se ha conectado la salida relé 1 del PLC a 110 V como se observa en la figura 48 para así poder alimentar la bobina del contactor cuando sea necesario.

Figura 48

Diagrama de control del motor monofásico



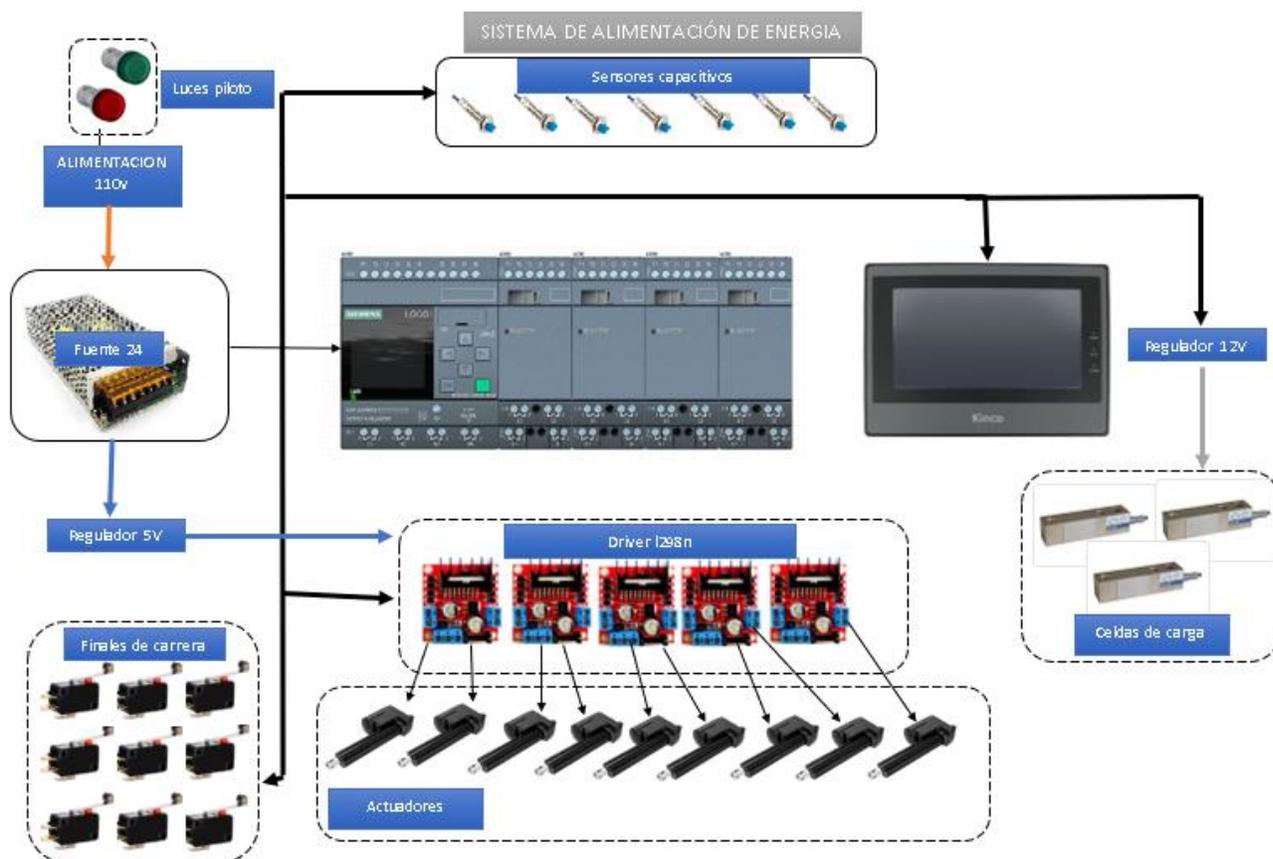
Nota. La bobina del contactor ha sido conectada a la primera salida del PLC la misma que aguanta un máximo de 10³.

Circuito eléctrico

En la parte electrónica del sistema mecatrónico consta el PLC, la pantalla HMI, actuadores, sensores, botones y luces piloto. La figura 49, se muestra el esquema de conexión del sistema de alimentación de energía.

Figura 49

Sistema de alimentación de energía



En la figura 49 se observa las diferentes alimentaciones de energía que necesitan los elementos de automatización en donde no se ha tomado en cuenta la parte de potencia del motor.

Selección de la fuente de alimentación

Después de definir los componentes electrónicos que forman parte de la máquina y que se enlistan en la Tabla 9 es necesario determinar una fuente AC/DC, la misma que se encarga de proporcionar el voltaje y la corriente necesaria para el correcto funcionamiento para cada uno de estos componentes. Esta fuente se determinó mediante la suma de las corrientes y del voltaje mínimo con el cual operan para poder determinar la potencia requerida de la fuente.

Tabla 9*Componentes electricos para calculo de fuente*

Componente	Cantidad	Voltaje (V)	Corriente (A)
Actuador lineal	9	12-24	3
Sensor capacitivo	8	6-36	0.3
PLC	1	12-24	0.3
Pantalla	1	12-24	0.2

Como se puede notar en la tabla 9 el voltaje común es 24 V por lo que es el valor ocupado para el cálculo de la potencia.

El actuador lineal solo se activará máximo 2 a la vez por lo que se lo toma en cuenta solo estas corrientes para el cálculo de la potencia requerida.

$$P = V * I \quad (27)$$

$$P = 24 V * (3 * 2 + 0.3 * 8 + 0.26 + 0.15)A$$

$$P = 24 V * (6 + 2.4 + 0.3 + 0.2)A$$

$$P = 24V * 8.9 A$$

$$P = 213.6 \text{ Watts}$$

Por lo tanto, de acuerdo a la potencia requerida se elige una fuente de 24 V a 20 A con una potencia máxima de 480 Watts.

Figura 50*Fuente de alimentación*

En la figura 50 se muestra la fuente utilizada en el circuito del sistema de mezclado la cual tiene protección contra cortocircuitos, sobrecargas o sobretensiones.

Diseño de circuito de acondicionamiento de las celdas de carga

En la parte del acondicionamiento de la señal de la celda de carga como se sabe esta entrega un voltaje en milivoltios a partir de la alimentación que las mismas tengan en el caso de las celdas de este sistema de mezclado se utilizaron 3 celdas, dos con un rango de hasta 1000 kilos para la tolva de pesaje y una con un rango de 350 kilos para el ensacado.

Cálculos para el acondicionamiento de la celda de la tolva de pesaje. Como existen dos celdas de carga de la misma capacidad lo primero que se realiza es conectarlas a las dos por medio de un sumador el cual entrega un promedio de voltaje entre las dos celdas.

Luego que ya se tiene un solo voltaje se procede con el cálculo el cual comienza con el voltaje de salida máximo que entrega la celda de acuerdo a la resolución de la misma la cual es $3 \frac{mV}{V}$ y el voltaje de entrada de 11.8V.

$$V_{max} = 3 \frac{mV}{V} * V_{in} \quad (28)$$

$$V_{max} = 35.4 \text{ mV}$$

Como se puede notar en la ecuación 28 la salida máxima que la celda entrega cuando tiene un peso de 1000kg es de 35.4 mV. Para el caso de la tolva de pesaje el máximo peso que se desea medir es de 200kg (4 quintales) por lo que el voltaje será aún menor dando la necesidad de amplificar la señal mediante el módulo AD620 el mismo que cuenta con una resistencia la cual amplifica hasta 1000X el voltaje de entrada teniendo en cuenta los siguientes parámetros.

Primero mediante una regla de tres se encuentra el voltaje máximo que entregará la celda al peso de 200kg.

$$V_{200kg} = \frac{200Kg * 35.4mV}{1000Kg} \quad (29)$$

$$V_{200kg} = 7.08 mV$$

Luego de haber obtenido el voltaje que se necesita amplificar se procede a encontrar la ganancia mediante la fórmula:

$$G = \frac{V_{salida}}{V_{entrada}} \quad (30)$$

$$G = \frac{5V}{7.08mV}$$

$$G = 706.21$$

Como el módulo ad620 viene integrado con una resistencia de 10k ohms para encontrar el valor necesitado se realiza una regla de 3 para encontrar la resistencia de amplificación.

$$R_{amplificacion} = \frac{706.21 * 10000ohms}{1000} \quad (31)$$

$$R_{amplificacion} = 7062.1$$

Luego de amplificar el voltaje esta listo para ser enviado al PLC para realizar la programación correspondiente.

Para la celda de carga del ensacado de 350kg lo máximo que se va a pesar serán 60kg, esta celda también posee una resolución de $3 \frac{mV}{V}$ por lo que el voltaje máximo será también 35.4mV dando los siguientes resultados:

$$V_{60kg} = \frac{60 \text{ kg} * 35.4mV}{350Kg}$$

$$V_{60kg} = 6.07mV$$

$$G = \frac{5V}{6.07mV}$$

$$G = 823.72$$

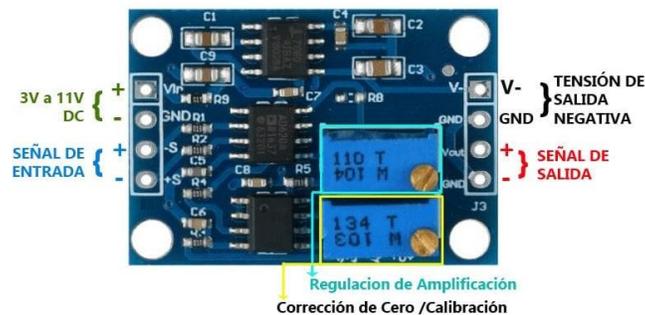
$$R_{amplificacion} = \frac{823.72 * 10000ohms}{1000}$$

$$R_{amplificacion} = 8237.2 \text{ ohms}$$

La resistencia a la que se debe llegar es 8237.2 ohms la cual permite llegar hasta 5 voltios a la salida.

Figura 51

Amplificador AD620

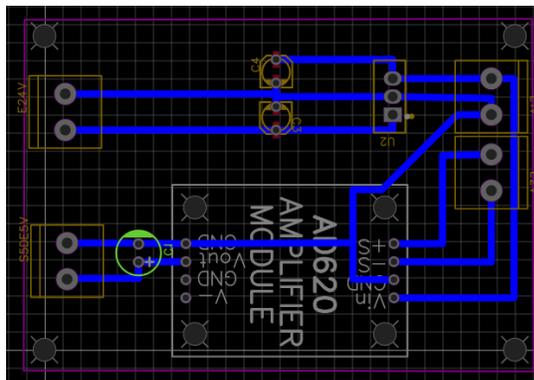


En la figura 51 el potenciómetro 110T que se muestra en la figura es el encargado de aumentar o disminuir la amplificación de voltaje mientras que el 134T permite regular el cero.

Para evitar el ruido al momento de amplificar los voltajes se ha diseñado un circuito para la conexión de las celdas en el cual está la alimentación de 12 V que necesita la galga además de capacitores los cuales ayudan a eliminar el ruido como se observa en la figura 52.

Figura 52

Circuito final del amplificador ad620



El circuito de la figura 52 fue realizado debido a que al momento de tomar el voltaje existía demasiado ruido y con este se pudo eliminar el ruido.

Esquema de programación

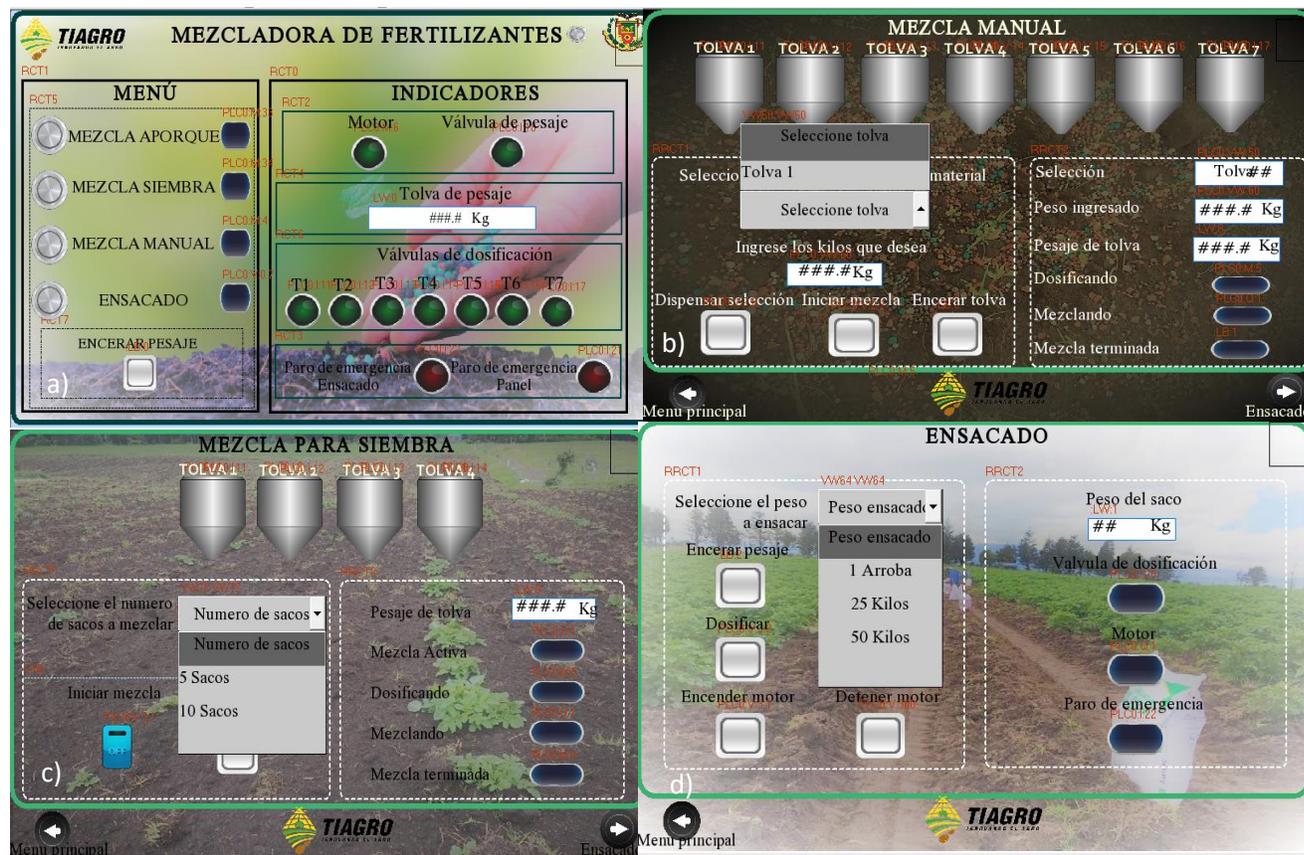
Para la programación del sistema se ha utilizado el software Logosoft el cual se lo encuentra gratuitamente en la página de siemens y el cual está basado en la programación ladder. El proceso de automatización empieza desde el almacenaje en las tolvas las cuales tendrán sensores capacitivos, luego viene la parte de dosificación y pesaje para después pasar a la mezcladora hasta finalmente el ensacado, este proceso se puede ver mejor en el Graficet presentado en el Anexo B.

Interfaz gráfica

Para la interfaz gráfica o HMI se han desarrollado 6 ventanas, una de ellas de inicio y las restantes se dividen de acuerdo a lo que se observa en la figura 53. La pantalla inicial muestra si algún actuador está activado o si el otor se encuentra mezclando, también indica que mezcla se está realizando o si la mezcla está lista para ensacarse.

Figura 53

Pantallas HMI



Nota. En el literal a de la figura se observa la pantalla del menú principal del sistema, en el literal b se muestra el HMI para la mezcla manual, el literal c indica la pantalla para la mezcla de siempre que es igual a la pantalla de mezcla aporque, y el literal de muestra la pantalla para el encado del fertilizante.

Trabajos futuros

Para mejorar el sistema de mezclado realizado en el futuro se puede cambiar la tolva de pesaje para que sea de mayor capacidad y pueda lograr mejorar los tiempos además de realizarla con un ángulo de caída mejor para el deslizamiento del producto sea de una manera más optima.

En cuanto al pesaje se puede mejorar el error de la tolva de ensacado para 25 y 1 arroba para que el usuario tenga más opciones al momento de ensacar, además se puede añadir una banda transportadora para que la salida de los quintales sea más sencilla.

Análisis de costos de materiales

Tabla 10

Costos de los materiales del sistema de mezclado

Material	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo (\$)
Láminas de acero inoxidable 2mm	4	200	800
Láminas de acero inoxidable 1mm	5	121	605
Tubo cuadrado 40x40 acero inoxidable	7	37.5	262.5
Tubo redondo 3 in	5	40	200
Actuadores lineales	9	55.19	496.71
Válvulas guillotina	8	54.54	436.32
Válvula mariposa	1	100	100
Driver L298N	5	4	20
Módulo AD620	2	12	24
Finales de Carrera	10	1	10
Tanques plastigama de 250 lt	5	61.33	306.65
Tanques plastigama de 500 lt	2	100.92	201.84
Tubo PVC 3 in	2	15	30
PLC Logo V8	1	228	228
Pantalla Touch Kinco	1	130	130
Módulo expandible para PLC Logo V8	2	194	388
Tablero de control	1	50	50
Celda de carga de 1000 kg	2	160	320
Sumador de celdas de carga	1	50	50
Otros			100
		Total	3055

Capítulo IV

Construcción del sistema de mezclado de fertilizantes

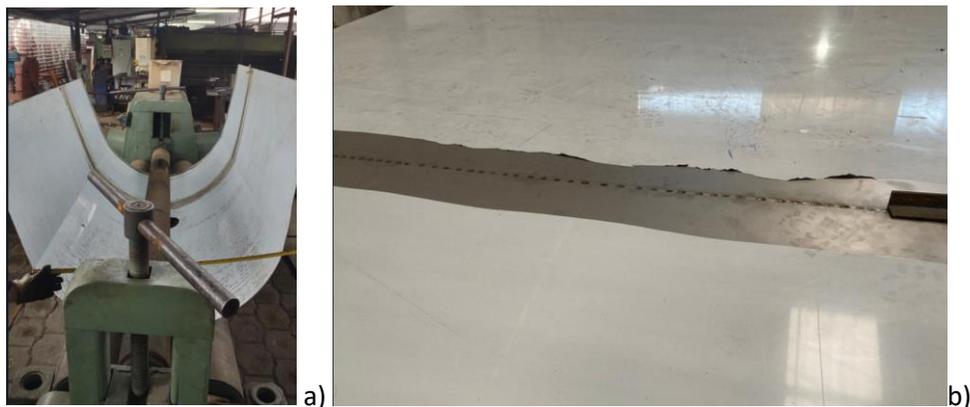
Una vez realizado la selección de todos los componentes para el sistema de mezclado de fertilizantes se procedió a la compra de los mismos.

Mediante los planos de la tolva de mezclado y su estructura se procedió a la elaboración de la misma. Como primer punto se tiene el doblado de la lámina de acero inoxidable para la tolva de mezclado de acuerdo a las medidas establecidas. Figura 54a.

Antes de proceder al doblado se tuvo que soldar dos láminas para poder llegar a las dimensiones correctas de la tolva como se observa en la figura 54b.

Figura 54

Doblado de la tolva de mezclado



Nota. En el literal a de la figura se muestra el doblado de la lámina previamente soldada como se indica en el literal b.

Una vez doblada la lámina de la tolva de acuerdo a las medidas del modelo CAD se obtuvo el resultado que se muestra en la figura 55.

Figura 55

Lámina dobla de acero inoxidable para la tolva de mezclado



Posteriormente se procedió al corte mediante láser de los laterales de la tolva de mezclado, para luego ser soldados como se indica en la figura 56

Figura 56

Corte y suelda de los laterales de la tolva de mezclado



Nota. La figura muestra en el literal a el corte de las láminas para los laterales de la tolva de mezclado y en el literal b la suelda de los mismos en la lámina previamente doblada

De igual forma se realizó el corte, dobles y suelda de las láminas de acero inoxidable para los embudos de las tolvas de almacenamiento y pesaje, como se indica en la figura 57.

Figura 57

Proceso de embudos para tolvas de almacenamiento



Nota. El literal a y b indican el corte y doblado de las láminas para los embudos de las tolvas de almacenamiento y el literal c y d muestran el resultado luego de la soldadura de los embudos y la tolva del pesaje respectivamente

Una vez terminado con el proceso de la tolva de la mezcladora, tolva de pesaje y embudos para tolvas de almacenamiento, se procedió a la construcción de la estructura de la base de la mezcladora, figura 58

Figura 58

Proceso de construcción de la base de la mezcladora de fertilizantes



A continuación, se realizó la elaboración del eje y las hélices para el sistema de mezclado del producto de acuerdo a lo elaborado en el modelo CAD, figura 59

Figura 59

Construcción del eje y hélices de la mezcladora



Nota. En la figura el literal a muestra los tubos donde se soldarán las hélices de la tolva de mezclado, el literal b muestra el maquinado del eje de la mezcladora y el literal c y d muestran el armado de las hélices de la mezcladora.

Una vez elaborados el eje y las hélices del sistema se procedió al armado en la estructura junto al motor, las chumaceras, la caja reductora y el sistema de piñón y catalina para el movimiento del eje como se observa en la figura 60

Figura 60

Armado del sistema de movimiento del eje



Nota. En el literal a se observa la colocación del eje en la mezcladora, mientras que en la figura b se puede observar todo el sistema de movimiento del eje conectado.

En el lugar de instalación de la maquina se construyó una estructura para la colocación de las tolvas de almacenamiento como se observa en la figura 61 y en esta base se colocaron los respectivos embudos.

Figura 61

Estructura para la colocación de embudos

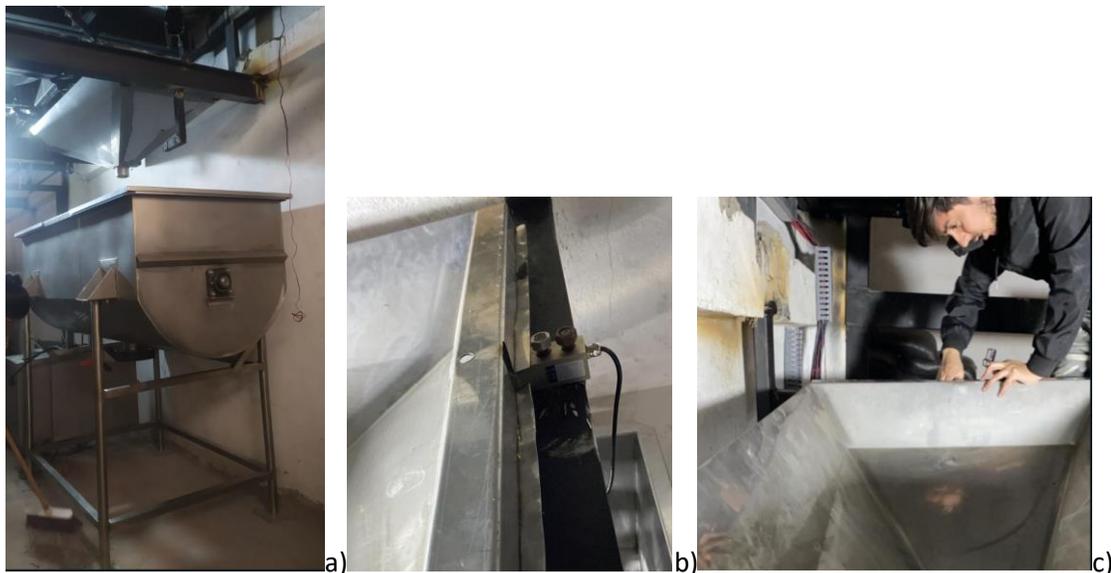


Nota. En el literal a se observa la estructura para la colocación de los embudos, y en las figuras b y c se observa los embudos colocados en la estructura.

Igualmente se colocaron la mezcladora y la tolva de pesaje en el lugar establecido por la empresa como se muestra en la figura 63. La tolva de pesaje se colocó junto a las celdas de carga como se indica en el literal b de la figura 62

Figura 62

Colocación de la mezcladora y tolva de pesaje en el lugar de trabajo



Nota. El literal a muestra la mezcladora y la tolva de pesaje colocadas en el área de trabajo y las figuras b y c muestran la colocación de la celda de carga en la estructura.

Una vez colocadas todas las tolvas de almacenamiento y de pesaje junto con la mezcladora, se procedió a acoplar las válvulas tipo guillotina junto con los actuadores lineales, y los finales de carrera, como se muestra en la figura 63.

Figura 63

Ensamble de actuadores y válvulas tipo guillotina



Nota. El literal a de la figura muestra la colocación del acople y los finales de carreta, el literal b muestra el ensamble completo de actuadores y válvulas.

Después de realizar el ensamble de los actuadores y válvulas se los coloco en sus respectivas tolvas y se realizó el cableado adecuado de los mismos, al igual que la colocación de los sensores capacitivos en las tolvas de almacenamiento, figura 64.

Figura 64

Colocación y cableado de actuadores y sensores capacitivos



Nota. El literal a y b muestran la colocación de los sensores capacitivos y actuadores respectivamente, en el literal c se muestra el cableado colocado a través de canaletas ranuradas.

Una vez colocados todos los sensores con sus respectivas válvulas se colocaron los tubos que serán los encargados de llevar el material hacia la tolva de pesaje como se observa en la figura 65

Figura 65

Colocación de los tubos PVC para el transporte de material



Con los sensores capacitivos colocados se procedió a cortar las bases los tanques de polietileno para colocarlos en los embudos, figura 66.

Figura 66

Corte y colocación de los tanques de almacenamiento



Nota. El inciso a muestra el corte de la base de los tanques plastigama, mientras que en el inciso b se pueden observar todos los tanques de almacenamiento colocados en sus respectivos embudos.

Terminado la colocación de los sensores y actuadores en la parte de almacenamiento y pesaje se colocó el acoplamiento del actuador lineal con la válvula tipo mariposa de la mezcladora de fertilizantes,

además también se colocó el paro de emergencia y el botón de ensacado en la parte baja de la tolva de mezclado, figura 67.

Figura 67

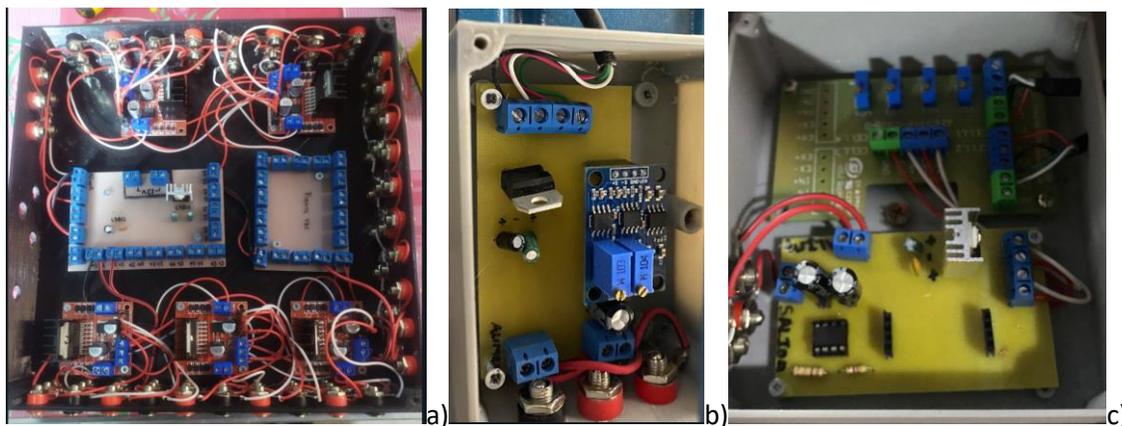
Acoplamiento de válvula de dosificación de ensacado y colocación de paro de emergencia y botón de dosificación



Luego de colocar todos los actuadores y sensores se procedió a realizar los circuitos necesarios para el funcionamiento de los mismos los cuales se muestran en la figura 68.

Figura 68

Circuitos para el funcionamiento de los sensores y actuadores



Nota. El literal a de la figura muestra el circuito para el funcionamiento de los actuadores, la figura b muestra el circuito para el funcionamiento de la celda de carga de dosificación para ensacado y la figura c muestra el circuito de las celdas de carga colocadas en la tolva de pesaje.

Ya que todos los circuitos se encuentran armados en sus respectivas cajas se procede al armado del tablero de control junto a los demás componentes.

Figura 69

Proceso de armado del tablero de control



Finalmente tenemos el sistema de mezclado completo en la figura 70

Figura 70

Sistema de mezclado



Capítulo V

Pruebas y resultados

En este capítulo se muestran los datos obtenidos después de realizar varias pruebas en cada uno de los sistemas propuestos de la máquina con el fin de evaluar el correcto funcionamiento de cada uno de ellos. Para las pruebas primero se parte desde la etapa de dosificación de las tolvas de almacenamiento tomando el tiempo que cada válvula se demora en abrir y cerrar además del tiempo en el cual el material cae por cada una de las tuberías. Como segunda parte se toma en cuenta el pesaje de la tolva y también el tiempo que demora en dosificar a la tolva de mezclado. Como tercer sistema se tiene a la mezcladora en si en donde se verificará el tiempo que las cintas helicoidales demoran en llegar a una mezcla homogénea del material. Y finalmente se realizan pruebas de pesaje para el ensacado del material ya mezclado.

Interfaz gráfica de mezcladora

La interfaz gráfica fue realizada mediante el software que proporciona KINCO la marca de la pantalla touch, el mismo que permite crear una interfaz amigable y fácil de usar para el usuario.

Para empezar a utilizar la máquina lo primero que se visualiza es un menú en donde se encuentran las mezclas establecidas, una para ingresar manualmente y el apartado del ensacado. Como se puede observar en la figura 72 también se muestra el estado de los actuadores y sensores conectados al sistema además de que si la tolva de pesaje no se encuentra en cero se tiene un botón de encerado en todas las ventanas.

Figura 71

Pantalla principal de la interfaz gráfica



Nota. En la figura 72 se puede observar el menú principal y además el encerado del pesaje en donde en a) el pesaje está movido y en b) el pesaje encerado después de presionar el botón

Para realizar las pruebas se utilizó la pantalla principal para observar el peso después de haber realizado la curva de pesaje de las celdas de pesaje de la tolva.

Pruebas de funcionamiento

Para evaluar el correcto funcionamiento de la máquina mezcladora se ha planteado las siguientes pruebas:

- Tiempo de apertura y cierre de las válvulas de dosificación.
- Tiempo que demora en caer el material desde cada tolva de almacenamiento
- Tiempo que demora en caer el material desde la tolva de pesaje
- Pruebas de pesaje de la tolva pesadora.
- Tiempo de mezclado para la homogenización del material.
- Pruebas de pesaje de ensacado.

Estas pruebas se las ha realizado con el peso máximo o la dosificación máxima que cada uno de los sistemas puede proveer para así poder encontrar el tiempo máximo que demoraría la máquina en realizar una mezcla.

Tiempo de apertura y cierre de válvulas de dosificación

Para esta prueba se ha realizado aperturas y cierres de las válvulas para verificar el tiempo que estas se demoran en abrir y cerrar. Para ubicar las válvulas se las ha enumerado del 1 al 7 para las válvulas de las tolvas de almacenamiento, con el número 8 a la válvula de dosificación de pesaje y con el número 9 la válvula para el ensacado. Para realizar estas pruebas se ha utilizado el cronómetro de un celular móvil.

Tabla 11

Tiempos de apertura de las válvulas

Válvulas	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
V1	4.89 s	5 s	4.8 s	4.8 s	4.8 s
V2	5.05 s	5 s	4.7s	5.07 s	5 s
V3	4.93 s	4.8 s	4.9 s	4.9 s	4.99 s
V4	5.07 s	4.9 s	5 s	5.03 s	5.02 s
V5	4.91 s	5 s	4.9 s	5.02 s	4.9 s
V6	5.02 s	5 s	5 s	5 s	5.07 s
V7	4.97 s	4.9 s	5 s	5.12 s	4.9 s
V8	5 s	4.8 s	5 s	5 s	5 s
V9	9.89 s	10.09 s	9.94 s	10.04 s	10.1 s

Para comprobar que todos los tiempos de apertura son los mismos se encuentra la desviación estándar para encontrar que tan cercanos están entre ellos, sin tomar en cuenta el dato de la válvula 9 ya que este al tener un distinto mecanismo su tiempo de apertura es mayor.

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n * = \frac{(X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

(32)

$$\bar{X} = \frac{4.8 + 5 + 4.99 + 5.02 + 4.9 + 5.07 + 4.9 + 5}{8}$$

$$\bar{X} = 4.96$$

$$\sigma = 0,081$$

Como la desviación estándar se acerca a cero nos indica que los resultados son muy parecidos entre sí.

Tabla 12

Tiempos de cierre de las válvulas

Válvulas	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
V1	4.98 s	5 s	4.97 s	5.08 s	5.18 s
V2	5.12 s	5.07 s	5.02 s	4.75 s	5.08 s
V3	4.89 s	4.92 s	4.99 s	5.18 s	4.95 s
V4	5.05 s	5 s	5.07 s	4.98 s	4.99 s
V5	5.02 s	5.03 s	5.01 s	5.02 s	5.08 s
V6	5.07 s	5 s	4.93 s	5.08 s	5.12 s
V7	4.98 s	4.99 s	5.02 s	5 s	5.03 s
V8	5.02 s	5 s	4.85 s	4.99 s	4.97 s
V9	9.89 s	9.98 s	10.07 s	10.06 s	10.03 s

Mediante las pruebas que se han realizado sobre el tiempo de apertura y cierre se puede llegar a la conclusión de que al ser todos los actuadores del mismo modelo y con la misma estructura desde la válvula 1 hasta la válvula 8 sus tiempos son los mismos pero la poca diferencia que se nota en los datos obtenidos se debe a la velocidad del ser humano para detener el cronómetro. No así el caso de la válvula 9 la cual tiende a demorarse más esto debido a que su diseño es diferente como se puede notar en la figura 73.

Al igual que en el tiempo de apertura de las válvulas se calcula la varianza para comprobar matemáticamente que la desviación estándar es cercana a cero.

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n * = \frac{(X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

(33)

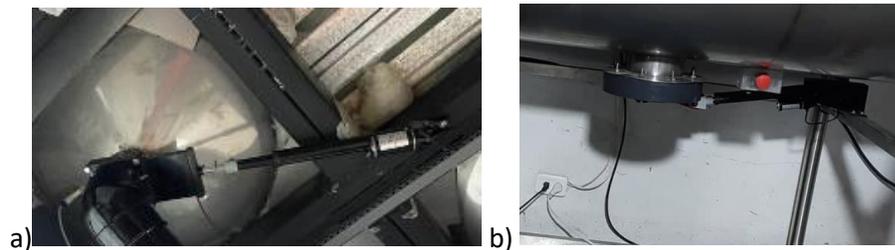
$$\bar{X} = \frac{5.18 + 5.08 + 4.95 + 4.99 + 5.08 + 5.12 + 4.97 + 5.03}{8}$$

$$\bar{X} = 6,30375$$

$$\sigma = 0.074$$

Figura 72

Diferencia entre la válvula de ensacado y las demás válvulas



Nota. En la parte a de la figura 73 su mecanismo de la válvula se basa en una válvula guillotina mientras que en el apartado b se basa en una válvula mariposa por lo que si tiempo de cierre y apertura son más demorosos.

Tiempo que demora en caer el material desde cada tolva de almacenamiento

Para esta prueba se ha enviado un solo tipo de material desde cada tolva dado que la situación actual no ha permitido que el almacén pueda abastecerse de diferentes materiales debido al factor económico.

El tiempo se ha cronometrado basándose en el peso máximo que cada tolva entrega en las mezclas especificadas por la empresa como se muestra en la tabla 12.

Tabla 13*Peso máximo que entrega cada tolva*

Número de tolva	Peso máximo en mezcla (Kg)
Tolva 1	250
Tolva 2	250
Tolva 3	100
Tolva 4	50
Tolva 5	50
Tolva 6	25
Tolva 7	25

Lo máximo que la tolva de pesaje puede pesar son 100 kg es decir 2 quintales por lo que para cronometrar el tiempo que demora cada tolva en dosificar el material al momento de que llega a 100 kg se ha pausado el cronómetro y se lo ha vuelto a iniciar cuando vuelve a dosificar material hasta completar el peso indicado de la mezcla, esto en los casos de que su peso de mezcla sea mayor a 100kg.

Tabla 14*Tiempos de caída de cada tolva.*

Válvulas	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
V1	295.2 s	304.45 s	290.5 s	293.12 s	298.57 s
V2	224.65 s	218.92 s	215.89 s	228.63 s	222.19 s
V3	72.19 s	78.79 s	77.26 s	77.82 s	79.12 s
V4	44.05 s	47.12 s	49.38 s	42.27 s	45.93 s
V5	54.92 s	59.12 s	57.56 s	53.93 s	55.08 s
V6	24.35 s	25.14 s	24.46 s	26.36 s	31.74 s
V7	21.97 s	24.09 s	27.89 s	28.95 s	24.33 s

Como se observa en la tabla 13 después de realizar las pruebas de los tiempos para una mezcla de 10 sacos que es la máxima que se puede mezclar se ha tomado los tiempos máximos para cada mezcla.

$$Td_{aporque} = 304.45 + 79.12 + 49.38 + 59.12 + 31.74 + 28.95$$

$$Td_{aporque} = 552.76 \text{ s} \quad (34)$$

$$Td_{siembra} = 228.45 + 79.12 + 49.38 + 59.12 + 31.74 + 28.95$$

$$Td_{siembra} = 476.76 \text{ s} \quad (35)$$

Donde T_d es el tiempo de dosificación.

Tiempo que demora en caer el material de la tolva de pesaje

Para la prueba de tiempo que demora en caer el material de la tolva de pesaje se ha cronometrado desde el momento que empieza a abrirse el actuador hasta que la tolva se vacía, cabe recalcar que la tolva de pesaje siempre dosifica 100 kg ya que es lo máximo que pesa.

Tabla 15

Tiempo de caída de material de tolva de pesaje

Prueba	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tiempo(s)	75.12	78.52	72.90	74.38	80.26	73.84	79.23	75.56	77.32	72.12

Luego de obtener los tiempos de caída del material se ha calculado un tiempo promedio el mismo que se muestra en la ecuación 36.

$$T d_{\text{pesaje}} = \frac{75.12 + 78.52 + 72.90 + 74.38 + 80.26 + 73.84 + 79.23 + 75.56 + 77.31 + 72.12}{10} \quad (36)$$

$$T d_{\text{pesaje}} = 75.92 \text{ s}$$

$$T_{\text{max}}_{\text{aporque}} = T d_{\text{aporque}} + 5 * T d_{\text{pesaje}}$$

$$T_{\text{max}}_{\text{aporque}} = 552.76 \text{ s} + 379.6 \text{ s}$$

$$T_{\text{max}}_{\text{aporque}} = 932.36 \text{ s}$$

$$T_{\text{max}}_{\text{aporque}} = \mathbf{15.53 \text{ minutos}} \quad (37)$$

Como en una mezcla de 10 quintales la válvula de pesaje se va a abrir 5 veces el tiempo máximo que se demora en dosificar será 5 veces $T d_{\text{pesaje}}$.

El tiempo máximo de dosificación de cada mezcla viene dado por la suma del tiempo de dosificación más 5 veces $T d_{\text{pesaje}}$.

$$T_{\text{max}}_{\text{siembra}} = T d_{\text{siembra}} + 5 * T d_{\text{pesaje}}$$

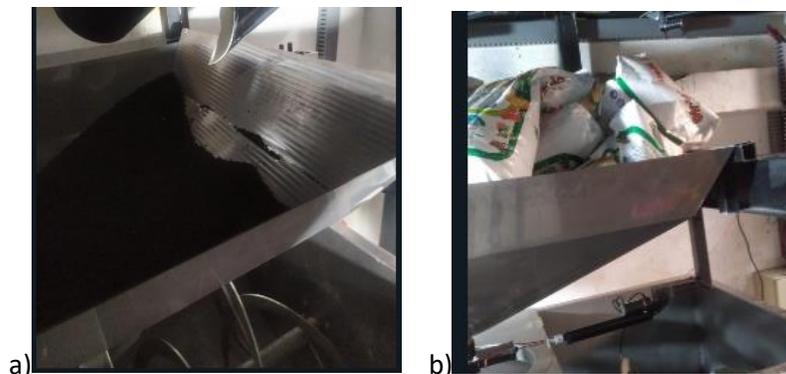
$$T_{\text{max}}_{\text{siembra}} = 476.76 \text{ s} + 379.6 \text{ s}$$

$$T_{\text{max}}_{\text{siembra}} = 856.36 \text{ s}$$

$$T_{\text{max}}_{\text{siembra}} = \mathbf{14.27 \text{ minutos}} \quad (38)$$

Pruebas de pesaje de la tolva pesadora

Para las pruebas de pesaje primero se realizaron con costales cerrados de 25 kg como se observa en la figura 74 hasta llegar a los 100 kg que es el peso máximo y luego se ocupó 2 quintales abiertos del mismo material

Figura 73*Pruebas de pesaje*

Nota. En la imagen a se observa que el material se distribuye mejor en la tolva por lo que el pesaje es mejor mientras que con los costales cerrados el peso no se distribuye correctamente.

Tabla 16*Pruebas de pesaje con sacos cerrados (Sc) y sacos abiertos (Sa)*

Pesos (Kg)	Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3		Prueba 4		Prueba 5	
	Sc	Sa	Sc	Sa	Sc	Sa	Sc	Sa	Sc	Sa
25	23.6	24.9	26.9	25.3	25.5	25.3	30.2	24.6	26.3	24.9
50	47.3	49.6	48.9	50.3	54.3	49.9	52.3	50.3	50.6	49.9
75	78.9	74.6	73.2	75.6	71.1	74.9	74.3	74.6	76.9	74.9
100	92.6	99.6	89.1	99.9	98.9	100.6	97.3	99.3	98.3	99.3

Con los datos de la tabla 13 se procede a obtener el error de los datos obtenidos tanto para las pruebas con sacos cerrados como de sacos abiertos, estos errores se presentan en la tabla 16

Tabla 17

Porcentaje de error del pesaje con sacos cerrados (Sc) y sacos abiertos (Sa)

Pesos (Kg)	%Error 1		%Error 2		%Error 3		%Error 4		%Error 5	
	Sc	Sa	Sc	Sa	Sc	Sa	Sc	Sa	Sc	Sa
25	5.6	0.4	7.6	1.2	2	1.2	20.8	1.6	5.2	0.4
50	5.4	0.8	2.2	0.6	8.6	0.2	4.6	0.6	1.2	0.2
75	5.2	0.5	2.4	0.8	5.2	0.13	74.3	0.53	0.93	0.13
100	7.4	0.4	10.9	0.1	1.1	0.6	2.7	0.7	1.7	0.7

Luego de determinar los porcentajes de error de los diferentes pesajes realizados se determina que la máquina tendrá un error de pesaje del 1% lo cual no afecta en nada a la mezcla final del producto.

Tiempo de mezclado para la homogenización del material

Para este apartado de las pruebas solo se pudieron realizar 3 pruebas debido a que la empresa no está abastecida de material por el elevado costo de la materia prima en el momento actual.

Las tres pruebas que se realizaron fueron monitoreadas por el ingeniero a cargo de la empresa quien conoce cuando la mezcla está homogénea con lo que se obtuvo los datos mostrados en la tabla 17

Tabla 18

Tiempos de mezclado

Mezcla	10 quintales	5 quintales	5 quintales
Tiempo (segundos)	260.54	175.97	180.85

El tiempo total de la mezcla desde la dosificación está dada por la suma del tiempo de mezcla con el tiempo de dosificación de cada mezcla

$$T_{totalmezclasiembra} = T_{mezclado} + T_{maxsiembra}$$

$$T_{totalmezclasiembra} = 260.54 \text{ s} + 856.36 \text{ s}$$

$$T_{totalmezclasiembra} = 1116.9 \text{ s}$$

$$T_{totalmezclasiembra} = 18.62 \text{ minutos} \quad (39)$$

$$T_{totalmezclaaporque} = T_{mezclado} + T_{maxsiembra}$$

$$T_{totalmezclaaporque} = 260.54 \text{ s} + 932.36 \text{ s}$$

$$T_{totalmezclaaporque} = 1192.9 \text{ s}$$

$$T_{totalmezclaaporque} = 19.88 \text{ minutos} \quad (40)$$

Como se puede observar en las ecuaciones 39 y 40 el tiempo total máximo de una mezcla hasta el ensacado es de 19.88 minutos.

Pruebas de pesaje de ensacado.

Para las pruebas de ensacado se ha utilizado las 3 mezclas realizadas en el transcurso de las pruebas. Para poder validar la hipótesis se ha tomado el tiempo que demora en llenarse el saco para sumarlo al tiempo total de mezcla calculado en el punto anterior.

Tabla 19

Pruebas de ensacado

Ensacado	Tiempo de ensacado(s)	Valor en pantalla (Kg)	Valor real (Kg)	%Error
Ensacado 1	19.72 s	49	49.70	1.40
Ensacado 2	21.87 s	50	50.2	0.39
Ensacado 3	22.32 s	50	49.85	0.3
Ensacado 4	20.74 s	49	49.6	0.7
Ensacado 5	26.97 s	50	50.10	1.2
Ensacado 6	20.32 s	50	50.05	0.09

Ensacado	Tiempo de ensacado(s)	Valor en pantalla (Kg)	Valor real (Kg)	%Error
Ensacado 7	22.14 s	49	49.60	1.2
Ensacado 8	21.36 s	48	49.20	2.43
Ensacado 9	23.15 s	49	48.95	0.1
Ensacado 10	28.73 s	50	49.90	0.2
Ensacado 11	18.39 s	51	51.3	0.5
Ensacado 12	20.37 s	52	52.55	1.04
Ensacado 13	21.12 s	50	50.10	0.19
Ensacado 14	22.81 s	51	50.45	1.09
Ensacado 15	24.93 s	48	48.80	1.63

Nota. En la tabla se nota que los últimos sacos el tiempo es mayor esto se debe a que las cintas helicoidales tienen menos material y se demora más en traerlo al centro de la máquina.

El tiempo que demora en ensacar es el promedio de todos los tiempos obtenidos dando un resultado de 21 segundos.

Para poder determinar el tiempo completo que una persona se demora en realizar una mezcla con ensacado hay que sumar el tiempo máximo de mezcla ecuación 40 con el tiempo promedio de ensacado.

$$T_{total} = 1192.9 s + (21 s * 10)$$

$$T_{total} = 1192.9 s + (210 s)$$

$$T_{total} = 1402.9 s$$

$$T_{total} = 23.38 \text{ minutos} \quad (41)$$

Validación de la hipótesis

La hipótesis planteada es:

¿El diseño e implementación de un sistema mecatrónico para el mezclado de fertilizantes mediante el control y automatización de procesos permitirá la optimización de tiempo y reducción del esfuerzo del personal en la empresa agrícola “Tiagro” de la ciudad de Machachi?

Las variables de la hipótesis son:

- Variable independiente: Sistema de mezclado de fertilizantes
- Variable dependiente: Optimización de tiempo de producción y reducción del esfuerzo del personal

Con esta hipótesis se planteará una hipótesis nula y una hipótesis alternativa:

Ho: El diseño e implementación de un sistema mecatrónico para el mezclado de fertilizantes mediante el control y automatización de procesos no permitirá la optimización de tiempo y reducción del esfuerzo del personal en la empresa agrícola “Tiagro” de la ciudad de Machachi

H1: El diseño e implementación de un sistema mecatrónico para el mezclado de fertilizantes mediante el control y automatización de procesos sí permitirá la optimización de tiempo y reducción del esfuerzo del personal en la empresa agrícola “Tiagro” de la ciudad de Machachi

Para validar esta hipótesis se ha planteado realizar un diagrama de operaciones de procesos para el mezclado de fertilizantes manual que se realizaba en la empresa y uno para el mezclado de fertilizantes usando el sistema de mezclado automatizado, para obtener datos con respecto a los valores de tiempo y de esfuerzos.

Un diagrama de procesos es una representación visual de las etapas de un proceso productivo en donde se puede evidenciar el tiempo y cuantas actividades se realizar para llevar a cabo la elaboración de un producto. (Terán, 2022)

Figura 74

Diagrama de operaciones de proceso manual de la mezcla de fertilizantes

Diagrama de Operaciones de Proceso										
Hoja N° 1 De: 1 Diagrama N°:1		Operar.	<input checked="" type="checkbox"/>	Mater.	<input type="checkbox"/>	Maqui.	<input type="checkbox"/>			
Proceso: Mezclado de 10 quintales de fertilizantes manualmente		RESUMEN								
Fecha: 06/08/2022		SÍMBOLO	ACTIVIDAD	Act.	Pro.	Econ.				
El estudio Inicia: Elección de la mezcla a realizarse			Operación	147						
Método: Actual: <input checked="" type="checkbox"/> Propuesto: <input type="checkbox"/>			Transporte	20						
Producto:			Inspección	1						
Nombre del operario:			Espera	0						
Elaborado por:			Almacenaje	10						
Tamaño del Lote:		Total de Actividades realizadas		178						
		Distancia total en metros		40						
		Tiempo min/hombre		198						
NUMERO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	Cantidad	Distancia metros	Tiempo Segundos	SÍMBOLOS PROCESOS					
										
1	Selección de los componentes de la mezcla	1		120,0	●					
2	Transportar los componentes al lugar donde se va a mezclar	10	20,0	1200,0	●	→				
3	Abrir los quintales que serán usados en la mezcla	10		600,0	●					
4	Volterar los costales de uno en uno para la mezcla	10		600,0	●					
5	Mezclar los componentes	5		3600,0	●					
6	Verificar que la mezcla este correcta	1		60,0	●					
7	Colocar con palas el material mezclado en los costales	100		1800,0	●					
8	Pesar los costales para tener un peso correcto	10		1800,0	●					
9	Coser los costales	10		600,0	●					
10	Llevar los quintales mezclados a su lugar	10	20,0	1200,0	●	→				
11	Limpieza del area	1		300,000	●					
Tiempo Minutos: 198,0		m	40,0	11.880,0 s						

En la figura 74 se observa que mediante el uso del diagrama de operaciones de procesos se puede determinar que el operador realiza aproximadamente 178 actividades para realizar la mezcla ya que esto incluye mover varios quintales uno por uno, mezclar utilizando palas, rellenar los sacos usando las mismas palas y posteriormente volver a acomodar los sacos mezclados en su lugar, lo que con lleva un gran esfuerzo del operador. Además, el tiempo aproximado que tarda en realizarse todo este sistema de mezclado es de 3 horas y media. Todo este proceso se evidencia en la figura 75.

Figura 75*Proceso de mezclado manual*

Después de realizar el diagrama de operaciones de procesos podemos determinar que el tiempo de mezclado debe ser menor a 198 min y las actividades realizadas menores a 178 para poder aceptar la hipótesis alternativa.

$$\begin{aligned}
 H1 \text{ si } & \begin{cases} \text{tiempo de la mezcladora} < 198 \text{ min} \\ \text{número de actividades} < 179 \end{cases} \\
 H0 \text{ si } & \begin{cases} \text{tiempo de la mezcladora} > 198 \text{ min} \\ \text{número de actividades} > 179 \end{cases}
 \end{aligned}
 \tag{42}$$

Ahora se procede a realizar el diagrama de operaciones de proceso para el sistema de mezclado automatizado tomando en cuenta los tiempos que se demora en la dosificación y mezcla según las pruebas realizadas.

Los tiempos usados para la elaboración del diagrama de operaciones se basó en los calculados mediante las pruebas realizadas para el tiempo de espera de la mezcla se utilizó el tiempo de la mezcla de aporque de 19.88 que se muestra en la ecuación 40 y para el tiempo de ensacado se toma los 21 segundos que se demora por cada quintal obtenido del promedio de la tabla 18

Figura 76

Diagrama de operaciones de proceso para el mezclado mediante el sistema de mezclado automatizado

Diagrama de Operaciones de Proceso										
Hoja N° 1 De: 1 Diagrama N°:1			Operar.	<input checked="" type="checkbox"/>	Mater.	<input type="checkbox"/>				
Proceso: Mezclado de 10 quintales de fertilizantes mediante el sistema de mezclado automatizado			RESUMEN							
Fecha: 06/08/2022			SÍMBOLO	ACTIVIDAD	Act.	Pro.				
El estudio Inicia: Elección de la mezcla a realizarse			●	Operación	21					
Método: Actual: __X__ Propuesto: ____			→	Transporte	17					
Producto:			■	Inspección	10					
Nombre del operario:			D	Espera	1					
Elaborado por:			▼	Almacenaje	10					
Tamaño del Lote:			Total de Actividades realizadas			59				
			Distancia total en metros			34				
			Tiempo min/hombre			58				
NUMERO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	Cantidad	Distancia metros	Tiempo Segundos	SÍMBOLOS PROCESOS					
					●	→	■	D	▼	
1	Colocar los componentes en sus tolvas respectivas	7	14,0	600,0						
2	Seleccionar la mezcla que desea	1		5,0						
3	Esperar el tiempo de mezclado	1		1193,0						
4	Ensacar los quintales	10		210,0						
5	Movilizar los quintales para se cocidos	10	10,0	300,0						
6	Coser los costales	10		600,0						
7	Apilar los sacos en su lugar	10	10,0	600,0						
Tiempo Minutos: 58,5		m	34,0	3.508,0	s					

Como se observa en la figura 76 el sistema de mezclado reduce el tiempo a 58min comparada con las 3 hora y media de mezcla manual, es decir, hay una reducción de casi el 70% del tiempo. Además, que las actividades para el personal se reducen a 59 en comparación a las 149 de la mezcla manual, existiendo una reducción de casi 60%. Hay que aclarar que la actividad número 1 de colocar los componentes solo debe realizarse cuando ya no exista producto en las tolvas, y no en cada mezcla, además el ensacado de los quintales no es obligatorio pues el producto de la mezcla puede permanecer en la tolva de mezclado hasta que sea necesario.

Tabla 20

Comparación de los resultados entre la mezcla manual y el sistema de mezclado

Tiempo medido mezcla manual	Tiempo medido sistema de mezclado
198 min	59 min
Actividades mezcla manual	Actividades sistema de mezclado
178	59

De acuerdo a la tabla 19 el tiempo del proceso para una mezcla de 10 quintales utilizando el sistema de mezclado es de 58 min y el número de actividades es de 59 siendo estas menores al tiempo de 198 y 178 actividades, de acuerdo a la ecuación 41 se acepta la hipótesis alternativa.

$$H1 \text{ si } \begin{cases} 58 \text{ min} < 198 \text{ min} \\ 59 < 179 \end{cases} \quad (43)$$

H1: El diseño e implementación de un sistema mecatrónico para el mezclado de fertilizantes mediante el control y automatización de procesos sí permitirá la optimización de tiempo y reducción del esfuerzo del personal en la empresa agrícola “Tiagro” de la ciudad de Machachi

Capítulo VI

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

La investigación realizada acerca de las mezcladoras existentes en el mercado arrojó que existen varios tipos como las mezcladoras horizontales, mezcladores cónica, mezcladoras verticales, entre otras y de acuerdo al tipo de materiales que se pretende mezclar se decidió que la mejor opción es la mezcladora horizontal con cintas doble helicoidales ya que, estas cintas no rompían el material y lograban una mezcla homogénea, además el diseño horizontal era el mejor con respecto al espacio de trabajo donde sería ubicada.

La mezcladora de fertilizantes logra cumplir la reducción del tiempo de mezclado ya que el tiempo que se demora en realizar todo el proceso de dosificación, mezclado y ensacado es de aproximadamente 58 min, comparado con el tiempo que una persona se demora mezclando de forma manual, todo el proceso se suele llevar a cabo en aproximadamente 3 horas, es decir se reduce casi un 70% el tiempo del proceso de mezclado de fertilizantes en la empresa agrícola Tiagro.

El acoplar las válvulas de dosificación con los actuadores para lograr automatizar la mezcladora, logró reducir los costos ya que su costo es 10 veces menor, y su funcionamiento es adecuado para el proceso que se requiere ya que mejora los tiempos y permite el paso correcto de los materiales que se pretende mezclar.

El acondicionamiento de las celdas mediante el uso de amplificadores operacionales permite realizar el mismo funcionamiento que los acondicionadores de señal existentes en el mercado lo que permite reducir costos en la elaboración de la mezcladora, además de poder realizar el circuito de acuerdo a las necesidades de las celdas de carga.

La automatización realizada mediante el PLC Siemens Logo V8.3 con el software LogoSoft permitió un óptimo control de los sensores y actuadores encargados de dosificar la tolva de mezclado,

permitiendo al operador por medio de la pantalla touch Kinko G070E tener control en la mezcla deseada y la cantidad deseada de acuerdo a las fórmulas especificadas por la empresa; se diseñó un HMI fácil de entender y de manejar.

Las pruebas de pesaje de ensacado y de pesaje de dosificación nos indican que la celda de carga colocada para el pesaje de ensacado es más precisa que las celdas de cargas colocadas en los extremos de la tolva de pesaje para dosificación, esto se debe a que la celda de carga de pesaje es de menor capacidad que las celdas colocadas en la tolva de pesaje y además que la celda de carga se encuentra ubicada en el centro de la plataforma de pesaje mientras que las otras dos galgas se encuentran en los extremos por lo que se puede concluir que los dos factores mencionados inciden directamente en el funcionamiento de las celdas de carga.

Tras realizar las diferentes pruebas de dosificación, pesaje y medición de tiempos se llega a la conclusión de que las mezclas programadas cumplen con las fórmulas establecidas por la empresa en cuanto a su homogenización en la mezcla y en los valores de cada componente que caen de las tolvas de alimentación.

Recomendaciones

Para una correcta medición de las celdas de carga en la tolva de pesaje se recomienda realizar una estructura firme y sólida para que las celdas de carga den datos más estables y precisos.

En cuanto a las válvulas de dosificación si se requiere mejorar más los tiempos del sistema de mezclado se recomienda usar válvulas que ya tengan actuadores incorporados que se encuentran en el mercado, aunque a un precio elevado.

Se puede adaptar las celdas de carga a la tolva de mezclado para que los componentes caigan con mayor rapidez y se optimice aún más los tiempos de mezclado.

En cuanto al ensacado de los fertilizantes se puede adaptar en trabajos futuros una banda transportadora para ayudar más en la reducción de esfuerzos de los trabajadores.

Bibliografía

- anffe. (n.d.). *LA IMPORTANCIA DE LOS FERTILIZANTES*.
- ArcoMet. (2019). *Plantas de Mezcla de fertilizantes | Blending Discontinuo*.
<http://www.arcomet7.com/producto/mezcla-blending-discontinuo/>
- Arenas, A. (2017, October 27). *Diseño Mezcladora Vertical de Fertilizantes | PDF | Fertilizante | Elementos químicos*. <https://es.scribd.com/document/362798539/Diseno-mezcladora-vertical-de-fertilizantes>
- Autotec. (2020, July 21). *Autotec | PLC Siemens S7-1200*. <https://www.autotecmex.com/blog/plc-siemens-s7-1200>
- Autycom. (2021, December 14). *SIMATIC S7-1200: automatización de tareas con precisión | AUTYCOM*.
<https://www.autycom.com/simatic-s7-1200-automatizacion-tareas-con-precision/>
- AVK Válvulas S.A. (2018). *¿Qué es una válvula de guillotina?* <https://www.avkvalvulas.com/es-es/m%C3%A1s-informaci%C3%B3n-y-soluciones/caracter%C3%ADsticas-de-los-productos/v%C3%A1lvulas-de-guillotina/qu%C3%A9-es-una-v%C3%A1lvula-de-guillotina>
- Begambre, J., Pinzón, S., Sánchez, J., & Sandoval, S. (2020). *Mezcladora de Cintas | PDF | Engranaje | Esfuerzo de torsión*. <https://es.scribd.com/document/461975816/Mezcladora-de-cintas>
- Boger, D. (2007, January 9). *Procesamiento por lotes con pesaje: los beneficios de un sistema automatizado*. <https://www.flexicon.es/Articulo/V-0745/Procesamiento-por-lotes-con-pesaje-los-beneficios-de-un-sistema-automatizado>
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (Novena).
- Burgos, A. (2017). *Método cualitativo de localización del proyecto*.
http://www.xprtraining.com/proyectos_inversion/metodo_cualitativo_puntos_localizacion_proyecto.html

Calvo, A. (2020, June 3). *Qué tipos de fertilizantes existen y cuáles usar - Agroptima*.

<https://www.agroptima.com/es/blog/tipos-fertilizantes/>

Contreras, B. (2021, December 7). *¿Qué es una celda de carga, cuáles son los diferentes tipos de sensores de fuerza y cómo funcionan en la medición de fuerza?*

<https://www.logicbus.com.mx/blog/que-es-una-celda-de-carga-cuales-son-los-diferentes-tipos-de-sensores-de-fuerza-y-como-funcionan-en-la-medicion-de-fuerza/>

Creus Solé, A. (2011). *Instrumentación industrial, 8va Edición*.

DINCORSA. (2017, January 30). *Tipos, aplicaciones y ventajas de las válvulas de bola*.

<https://www.dincorsa.com/blog/valvulas-bola-tipos-aplicaciones-ventajas/>

Electromecanic. (2019). *Definición y tipos de actuadores hidráulicos*.

<https://automantenimiento.net/hidraulica/definicion-y-tipos-de-actuadores-hidraulicos/>

Fernández, O. (2017, April 9). *Que es un PLC siemens logo |CodigoElectronica*.

<http://codigoelectronica.com/blog/que-es-un-plc-siemens-logo>

Inoxpa. (n.d.). *Mezclador Bicónico para Sólidos - Mezclador doble cono INOXPA*. Retrieved May 12, 2022,

from <https://www.inoxpa.es/productos/equipos/equipos-de-mezcla/mezclador-tipo-biconico-mbc>

Intesista. (2018). *Actuadores Neumáticos*. <https://www.intesista.com/productos/actuadores-neumaticos/>

Isabel, A., Hidalgo, B., Crespo Ordóñez, A. G., & Lozano, E. M. (2013). *Diseño de una Línea de Producción de Fertilizantes Pulverizados usando Molino de Pines [ESPOL]*.

<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24619/1/Dise%c3%b1o%20de%20una%20linea%20de%20producci%c3%b2n%20de%20fertilizante%20pulverizados.pdf>

Julian, G., & Rincón, E. (2017). *DISEÑO DE UNA MÁQUINA MEZCLADORA, AUTOMÁTICA, DE MATERIAS PRIMAS PARA LA ELABORACIÓN DE JABONES LÍQUIDOS, SUAVIZANTES Y DESENGRASANTES*

INDUSTRIALES, PARA LA EMPRESA QUÍMICOS ZOREL [Fundación Universidad de América].

<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6501/1/4111332-2017-2-IM.pdf>

Lab-Volt. (2001). *Sensores, Manual del estudiante* (Primera).

<http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/ManualesIng/FluidosySensores-O.pdf>

LINAK. (2019). *Actuadores lineales eléctricos para un ajuste suave, inteligente y potente*.

<https://www.linak-latinamerica.com/productos/actuadores-lineales/>

Lleal. (2019). *Mezcladores intensivos Lleal Mir - Química - Mezcladores intensivos*.

<https://www.interempresas.net/Quimica/FeriaVirtual/Producto-Mezcladores-intensivos-Lleal-S-A-Mir-139892.html>

Matalteco. (2020). *Mezcladora: Tipos, Ventajas y Funcionamiento (Parte 1)*.

<https://metalteco.com/mezcladora-tipos-ventajas-funcionamiento-1/>

McCabe, W., Smith, J., & Harriot, P. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química* (Séptima).

McGraw-Hill. <http://librodigital.sangregorio.edu.ec/librosusgp/14698.pdf>

Metalteco. (2020). *Mezcladoras: Capacidad y Tiempos de la Línea de Mezcla*.

<https://metalteco.com/mezcladoras-capacidad-guia-calculo/>

Molinos Azteca. (2015, October 19). *Mezcladoras horizontales vs. Mezcladoras verticales - Engormix*.

<https://www.engormix.com/balanceados/articulos/mezcladoras-horizontales-mezcladoras-verticales-t32672.htm>

Molinos, C. (2019, March 10). *Mezcladoras - Molinos Coloidales*.

<http://molinoscoloidales.com.ar/mezcladoras/>

Motive. (n.d.). *Catálogo de Reductor Ortogonal Enduro*. Retrieved August 6, 2022, from

https://www.motive.it/upload/documenti/cataloghi/ENDURO_spa.pdf

NTGD Valve. (n.d.). *Todo lo que necesitas saber sobre la válvula de mariposa*. Retrieved May 18, 2022,

from <https://www.ntgdvalve.com/es/valvula-de-mariposa/>

Omega Engineering. (2019). *¿Qué es una célula de carga y cómo funciona? Tipos de celda.*

<https://es.omega.com/prodinfo/celulas-de-carga.html>

Perera, A. (2020). *PLC, ¿qué son y cómo funcionan? - Automatismos_XI_Mundo.*

<https://automatismosmundo.com/plc-todo-lo-que-necesitas-saber/>

Precision. (2021). *¿Qué son las celdas de carga y cómo funcionan?* <https://blog.precision.cl/celdas-de-carga-tipos-definicion>

Quiminet. (2010, October 17). *Soluciones integrales en granulometría, homogeneización y mezcla |*

QuimiNet. <https://www.quiminet.com/articulos/soluciones-integrales-en-granulometria-homogeneizacion-y-mezcla-45328.htm>

Rodríguez, H. (2021). *Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin.*

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>

SDI. (2021, July 20). *Actuadores eléctricos: Qué son, cómo funcionan, dónde se utilizan.*

<https://sdindustrial.com.mx/blog/introduccion-a-los-actuadores-electricos-motores-electricos/>

Terán, A. (2022, April 20). *Diagrama de operaciones - Símbolos, usos y método — Marketeros LATAM.*

<https://www.marketeroslatam.com/diagrama-de-operaciones-simbolos-usos-y-metodo/>

TiMOTION. (2021, August 10). *¿Qué es un actuador lineal eléctrico y cómo elegirlo?*

<https://www.timotion.com/es/news-and-articles/part-1-what-is-an-electric-linear-actuator-and-how-to-choose-it>

Tolomatic. (n.d.). *LITERATURA SOBRE LOS ACTUADORES LINEALES ELÉCTRICOS.* Retrieved May 17, 2022,

from https://www.tolomatic.com/portals/0/9900-4077_ebook-ele-linear-motion-esp.pdf?ver=HEJP9hbrjWTup9UElezCfQ%3D%3D

Tuvalrep. (2022). *Válvulas Tipos y Usos – Tuvalrep.* <https://tuvalrep.com.co/2018/10/16/valvulas-tipos-y-usos/>

Vulcano. (n.d.). *Mezcladora horizontal - Maquinaria - Vulcanotec*. Retrieved May 12, 2022, from <https://vulcanotec.com/maquinaria/mezcladora-horizontal/>

Anexos