

SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA PREPARACIÓN DE PRODUCTOS A BASE DE QUINUA.



Ricardo Andres Gonzalez Pino.

Trabajo de grado en Automática Industrial
Modalidad: Práctica Profesional

Director:

Msc. Francisco Franco Obando

Co-Director(a):

Msc. Judy Cristina Realpe

Asesor de la empresa:

Ing. Edwin Fernando Muñoz

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Programa de Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Junio 2019

Ricardo Andres Gonzalez Pino.

**SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA PREPARACIÓN DE PRODUCTOS A BASE DE
QUINUA.**

Informe presentado a la Facultad de Ingeniería
Electrónica y Telecomunicaciones de la
Universidad del Cauca para la obtención del
Título de

Ingeniero en:
Automática Industrial

Director:
Msc. Francisco Franco Obando
Co-Director(a):
Msc. Judy Cristina Realpe

Popayán, Cauca
2019

Nota de Aceptación:

Firma del director

Firma del jurado

Firma del jurado

Popayán, Junio de 2019.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por haberme otorgado una familia maravillosa, que ha creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio.

Tabla de contenido

| | |
|---|------------|
| Lista de figuras | VII |
| Lista de tablas | IX |
| 1. Conceptualización y funcionamiento | 1 |
| 1.0.1. Dispositivos de ayuda para el flujo | 4 |
| 1.0.2. Dosificadores volumétricos y gravimétricos | 4 |
| 1.0.3. Control y Medición | 6 |
| 2. Requerimientos y parámetros de diseño | 9 |
| 2.1. Requerimientos del producto | 9 |
| 2.1.1. Características de la máquina | 9 |
| 2.1.2. Alternativas de diseño | 10 |
| 2.1.3. Selección de alternativas | 13 |
| 3. Diseño sistema de dosificación automático | 19 |
| 3.0.1. Sistema de Almacenamiento | 22 |
| 3.0.2. Tolva Dosificación | 29 |
| 3.0.3. Válvula | 35 |
| 3.0.4. Sistema de Pesaje | 39 |
| 3.0.5. Sistema de Transporte | 45 |
| 3.0.6. Sistema de Control | 48 |

| | |
|---|------------|
| 4. Presupuesto de ejecución | 55 |
| 5. Conclusiones y recomendaciones | 61 |
| 5.1. Conclusiones | 61 |
| 5.2. Recomendaciones | 62 |
| Bibliografía | 63 |
| A. Plano Tolva Dosificadora | 65 |
| B. Válvula Mariposa con Actuador Eléctrico | 71 |
| C. Plano Tornillo Sin Fin | 77 |
| D. Especificaciones Técnicas Celda de Carga de un solo punto | 79 |
| E. Especificaciones Técnicas Celda de Carga Tipo S | 81 |
| F. Comparativa Controladores | 83 |
| G. Conexionado Entradas y Salidas PLC | 85 |
| H. Conexionado Entradas y Salidas Arduino | 93 |
| I. Plano Armario de Control | 99 |
| J. Presupuesto | 103 |
| K. Cotización Equipos | 111 |
| L. Modelo 3D dosificador | 119 |
| M. Diagrama de Flujo de Proceso | 121 |
| N. Diagrama P&ID y Diagrama de lazo de control PLC | 123 |

| | |
|---|------------|
| Ñ. Diagrama P&ID y Diagrama de lazo de control Arduino | 131 |
| O. Diagrama Mando y Potencia PLC | 139 |
| P. Diagrama Mando y Potencia Arduino | 141 |
| Q. Aval del proyecto | 143 |

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| 1.1. Productos Destacados Prodesic. | 1 |
| 1.2. Esquema dosificador. | 4 |
| 1.3. Ejemplos de sensor de nivel para sólidos. | 7 |
| 2.1. Modelo 3D dosificador alveolar y por gravedad. | 12 |
| 2.2. Modelo 3D dosificador por medición de masa y por tornillo sin fin. | 12 |
| 3.1. Mezclador en la empresa Prodesic. | 19 |
| 3.2. Modelo 3D mezclador. | 20 |
| 3.3. Elevador en la empresa Prodesic. | 20 |
| 3.4. Modelo 3D elevador. | 21 |
| 3.5. Esquema proceso de mezclado. | 21 |
| 3.6. Entradas y salidas del mezclador. | 23 |
| 3.7. Cálculo área mezclador mediante Solidworks. | 25 |
| 3.8. Modelo 3D tapa mezclador. | 30 |
| 3.9. Ilustración paralelepípedo rectangular con pirámide. | 31 |
| 3.10. Esquemático paralelepípedo rectangular y pirámide. | 31 |
| 3.11. Modelo 3D de la tapa de la tolva. | 34 |
| 3.12. Modelo 3D de la tolva de dosificación. | 34 |
| 3.13. Modelo 3D de la tolva de dosificación con tapa. | 35 |
| 3.14. Pruebas caseras para tubo de desfogue. | 38 |

| | |
|---|----|
| 3.15. Modelo 3D conexión válvula con tolva. | 38 |
| 3.16. Experimento celdas de carga. | 39 |
| 3.17. Calibración celdas de carga. | 40 |
| 3.18. Pruebas medición celdas de carga. | 40 |
| 3.19. Ponqué en pesaje. | 41 |
| 3.20. Parámetros tornillo sin fin. | 46 |
| 3.21. Esquemático tornillo sin fin. | 47 |
| 3.22. Medidas tornillo sin fin. | 47 |
| 3.23. Esquema de control Feedback. | 50 |
| 3.24. Modelo 3D armario de control. | 52 |
| 3.25. Vista frontal sistema de dosificación en 3D. | 53 |
| 3.26. Vista isométrica sistema de dosificación en 3D. | 54 |

Lista de tablas

| | |
|---|----|
| 1.1. Dosificadores volumétricos. | 5 |
| 2.1. Lista de ingredientes colada de quinua. | 9 |
| 2.2. Especificaciones dosificador. | 10 |
| 2.3. Criterios para evaluación de alternativas. | 13 |
| 2.4. Ponderación numérica. | 14 |
| 2.5. Alternativa A. | 14 |
| 2.6. Alternativa B. | 15 |
| 2.7. Alternativa C. | 15 |
| 2.8. Alternativa D. | 16 |
| 2.9. Criterios de evaluación. | 16 |
| 2.10. Ponderación de criterios. | 17 |
| 2.11. Matriz de selección. | 17 |
| 3.1. Medidas mezclador. | 25 |
| 3.2. Área de tolva de almacenamiento correspondiente a cada ingrediente. | 25 |
| 3.3. Volumen de tolva de almacenamiento correspondiente a cada ingrediente. | 26 |
| 3.4. Largo de tolva de almacenamiento correspondiente a cada ingrediente. | 26 |
| 3.5. Ancho de tolva de almacenamiento correspondiente a cada ingrediente. | 26 |
| 3.6. Altura de tolva de almacenamiento correspondiente a cada ingrediente. | 27 |
| 3.7. Área de tolva de almacenamiento correspondiente a cada ingrediente para dos lotes. | 28 |

| | |
|--|-----|
| 3.8. Volumen de tolva de almacenamiento correspondiente a cada ingrediente para dos lotes. | 28 |
| 3.9. Ancho de tolva de almacenamiento correspondiente a cada ingrediente para dos lotes. | 28 |
| 3.10. Altura de tolva de almacenamiento correspondiente a cada ingrediente para dos lotes. | 28 |
| 3.11. Dimensionamiento dos lotes de producción para tanques de almacenamiento. . . . | 29 |
| 3.12. Densidad de la materia prima. | 29 |
| 3.13. Presión correspondiente para cada ingrediente. | 33 |
| 3.14. Parámetros para el cálculo del área de la válvula. | 37 |
| 3.15. Sensibilidad celda de carga. | 42 |
| 3.16. Relación balance de masa con celda. | 43 |
| 3.17. Capacidad máxima para cada ingrediente. | 44 |
| 3.18. Señal de salida para celda de carga para tanques de almacenamiento. | 44 |
| 3.19. Equipos armario de control. | 51 |
| 4.1. Costo materiales. | 56 |
| 4.2. Elementos adicionales por metro. | 56 |
| 4.3. Costo PLC. | 57 |
| 4.4. Costo Arduino. | 57 |
| 4.5. Costo sistema automático para la preparación de productos a base de quinua. . . . | 57 |
| 4.6. Tiempo estimado de ejecución. | 59 |
| F.1. Comparativa PLC | 84 |
| J.1. Presupuesto con PLC | 106 |
| J.2. Presupuesto con Arduino | 109 |

Introducción

Hoy en día los procesos de producción de alimentos avanzan a un ritmo acelerado, la apertura de nuevos mercados, el incremento de la competencia y la creciente demanda inducen a una optimización continua en los procesos, el objetivo es lograr una producción óptima garantizando productos de calidad. En Colombia las industrias alimenticias de pequeño y mediano tamaño se integran gradualmente a estos procesos de cambio, abandonando métodos antiguos y/o artesanales de producción, debido a que son procesos manuales y poco eficientes, acabando consigo el precedente de que solo las grandes empresas tienen la capacidad de acceder a las últimas tecnologías de producción. Las nuevas tecnologías y la automatización gestan soluciones que permiten llegar a mercados más amplios y brindan la capacidad de mantenerse en ese nivel productivo, teniendo gran eficiencia en el proceso, óptima calidad en el producto, generando así una reducción de costos de operación y un incremento en las ganancias [1].

En la producción de alimentos en polvo, esta no es la excepción, las soluciones tecnológicas para optimizar estos procesos son ofrecidas por empresas especializadas, sin embargo, por su costo elevado estas herramientas se encuentran fuera del alcance de muchas medianas y pequeñas empresas, ya que no están en la capacidad de adquirir estos productos. Además todas las empresas tienen necesidades diferentes, lo que implica que se debe incurrir en adaptaciones según corresponda, elevando aún más el costo de dichos equipos; Por tal motivo, se plantea desarrollar el diseño de una máquina que brinde seguridad en la cantidad de material a dosificar, efectuando esta dosificación en tiempos acordes para la empresa y prescindiendo de la manipulación manual en el proceso, reduciendo enormemente el riesgo de agregar impurezas y preservando la salud del operario [2].

Prodesic es una empresa Caucana que busca recalcar la importancia nutricional de la quinua generando productos como coladas, galletas, snacks, entre otros. Día a día busca mejorar la calidad de sus procesos y productos, integrando gradualmente procesos semi-automatizados. En la actualidad busca mejorar el proceso de dosificación de ingredientes de manera que se obtengan cantidades precisas y flexibilidad en el proceso facilitando la realización de diversas recetas integrando los equipos existentes en la planta como lo son un mezclador y un elevador de tornillo sin fin. Este proyecto pretende abarcar el modelado de los equipos existentes en la empresa, así como el diseño de la propuesta de dosificación con los componentes del sistema mecánico, mediante la herramienta de software CAD SOLIDWORKS. La alternativa de solución planteará una dosificación de forma automática, en la cual el operario tendrá opciones previamente establecidas de dosificación, dependiendo de la receta que deba llevar a cabo, esto con el fin de minimizar errores en el proceso y en la manipulación de la máquina. El proyecto culmina con la realización del modelo 3D del dosificador, los planos de conexión y el presupuesto de ejecución.

Capítulo 1

Conceptualización y funcionamiento

Prodesic es una organización Caucana, creada para la gestión de proyectos y el encadenamiento productivo del sector agropecuario a la industria y el comercio¹. Partiendo de las grandes propiedades nutricionales y la demanda actual que tiene la quinua [3], la fabricación de alimentos basada en este insumo es fundamental para la empresa, de tal manera que se cuenta con procesos para la realización de diversos productos en diferentes presentaciones como lo son: mi colada quinua, harina de quinua, grano de quinua, leche de soya con quinua, galletas de quinua, entre otros², como se muestra en la Figura 1.1



Figura 1.1: Productos Destacados Prodesic.
Fuente: <http://prodesic.com>

La quinua, principal ingrediente dentro del proceso de coladas es un pseudo-cereal que hoy en día se cultiva esencialmente en la cordillera de los Andes, los productores esenciales son: Perú, Bolivia, Colombia y Ecuador [4] [5]. Adquiriendo gran relevancia económica en el sector agrario por sus propiedades nutricionales, se considera a la quinua como un cereal de gran valor nutricional en comparación con el trigo, la cebada y el maíz, por lo cual se elaboran variedad de productos como lo son: galletas, coladas, snacks y bebidas [6].

¹<https://prodesic.com>

²<https://prodesic.com/nuestros-productos>

Las coladas de quinua son el producto insignia de la empresa Prodesic, realizadas a base de este pseudo-cereal y el aditamento de 5 ingredientes que en conjunto logran la consecución de coladas de gran sabor y un alto porcentaje nutritivo. Para lograr este producto la empresa cuenta con diversos equipos en un proceso productivo separado en 2 etapas, del cual se obtienen varios productos.

■ Preparación polvo de quinua.

- Limpieza: es la primera etapa en el proceso de producción, en esta se recibe el producto en forma granular para un posterior almacenamiento. Mediante un elevador se transporta la materia prima al desaponificador, en donde se limpia el grano de saponina, eliminando el sabor amargo de la quinua [7]. El proceso de desaponificación utiliza una técnica en seco, es decir, no se requiere vía húmeda para ello.
- Tamizado: etapa en la que se realiza una selección del grano, en esta es posible obtener productos de gran importancia para la empresa, algunos de ellos son usados en procesos posteriores para la realización de coladas.
 - Grano perlado.
 - Grano óptimo (Exportación - Harinas).
 - Ripio (Tostado - Harinas).
 - Impurezas.
- Molido: etapa final del proceso de producción para la obtención del polvo de quinua. Una vez separados los granos de exportación con respecto a los granos para harinas, se verifica la humedad del grano, en caso de que se encuentren húmedos, pasan por un horno que permite garantizar la humedad correcta, para posteriormente pasar a un molino de martillos y obtener el “polvo de quinua”.

■ Preparación coladas a base de quinua.

- Mezclado: el mezclador cuenta con una capacidad instalada de 150 kg, el cual recibe 5 materias primas adicionales al polvo de quinua en un proceso de mezclado que dura 15 min a velocidad constante. Los ingredientes que se mezclan son todos productos granulados y en polvo:
 - Azúcar.
 - Arroz.
 - Avena.
 - Trigo.
 - Quinua.
 - Saborizante.
- Sellado: al culminar el proceso de mezclado, la mezcla resultante se deposita en el elevador, el cual se conecta mediante un tornillo sin fin a la empaquetadora. Se cuenta

con una máquina que se encarga de sellar el producto final con una capacidad entre 50 y 60 bolsas de libra por minuto. Cada vez que esta máquina se queda sin suministro, el tornillo sin fin se enciende para abastecer de material al equipo.

El proceso de mezclado en la empresa requiere la adición de 6 ingredientes. Actualmente la agregación de materias primas se realiza de forma manual, lo que puede resultar en una problemática para la empresa puesto que se genera dependencia con el encargado de suministrar materias primas al mezclador, posibles fugas de información y afectaciones en la salud a largo plazo. Las afectaciones en la salud se dan debido a que la persona encargada debe hacer el proceso de pesaje para cada uno de los materiales, realizando el cargue y descargue de cada uno de los insumos, los más pesados se encuentran en presentación de 50 kg, requiriendo un mayor esfuerzo de la persona que está a cargo, pudiendo tener afectaciones en su columna vertebral. Es por este motivo que la empresa plantea la alternativa de una dosificación automática de los ingredientes, de manera que se eviten problemas de salud en la persona encargada y se obtenga un alto grado de confiabilidad en las recetas. Se hace una recopilación de información y un estudio de los elementos participes en un dosificador; explicando brevemente la función de cada uno de estos dentro de un proceso.

Los dosificadores tienen como función principal controlar la cantidad de producto a agregar, estos dispositivos regulan el traslado de productos en las diversas etapas de proceso. Entre sus características más importantes se encuentran: velocidad, repetitividad y precisión en la entrega. Para poder cumplir estas funciones el dosificador se compone de tolva de almacenamiento, sistema dosificador y boquilla de descarga [1] [8].

- **Dosificador:** es una máquina que permite abastecer de material a cada una de las etapas de proceso en cantidades y tiempos determinados. Este se constituye en 3 partes:
 - **Tolva de almacenamiento:** es el equipo encargado de recibir y almacenar el producto para una posterior dosificación. La alimentación de las tolvas puede ser por banda transportadora, tornillo sin fin o de forma manual.
 - **Sistema dosificador:** es la parte fundamental de todo dosificador, la función principal es realizar la medición que determina la cantidad de producto a retirar de la tolva. La medición se puede efectuar por volumen (volumétrica) o por peso (gravimétrica), obedeciendo a las características del producto y del proceso.
 - **Boquilla de descarga:** también conocida como tubo de descarga, es la encargada de guiar correctamente el producto dosificado. El uso de este equipo evita que el producto se riegue o se desperdicie. De todos los componentes que tiene un sistema de dosificación, este se puede obviar, sin embargo, no es recomendable bajo ningún punto de vista, en primera instancia porque que no se garantiza que el producto llegue a su destino, y en segunda instancia porque este componente evita riesgos en el producto como lo es una eventual contaminación, además de perder la protección con respecto al operario en caso de tratar con productos tóxicos o que presenten riesgos para la salud.

En la Figura 1.2 se presenta el boceto básico del diseño de un dosificador, mediante el cual se describe el principio de funcionamiento. Las partes de un dosificador pueden sufrir alteraciones dependiendo el producto y la cantidad a dosificar, además de la forma de descargue que puede ser por peso o por volumen.

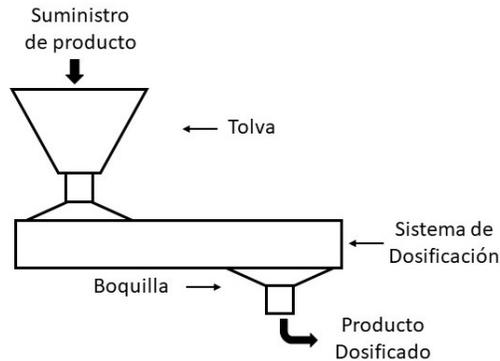


Figura 1.2: Esquema dosificador.

Fuente: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/16483/00781358.pdf?sequence=1>

1.0.1. Dispositivos de ayuda para el flujo

Las características del producto influyen directamente en la fluidez con respecto al recipiente que lo contiene, siendo necesaria la implementación de sistemas que ayuden a mejorar el flujo del producto. Algunos de los sistemas más populares son: tolvas vibratorias, alimentadores de tornillo sin fin, alimentadores por banda vibratoria [2].

- **Tolva vibratoria:** es usada para mejorar la abertura de los depósitos de almacenamiento, provoca un flujo adecuado al romper los morros formados por el material.
- **Alimentador de tornillo sin fin:** su importancia radica en un tornillo helicoidal de paso variable que produce un arrastre uniforme de material.
- **Alimentador vibratorio:** es el encargado de proporcionar flujo uniforme a lo largo de una abertura, sin embargo, este sistema puede presentar problemas con los productos pegajosos.

1.0.2. Dosificadores volumétricos y gravimétricos

Los dosificadores volumétricos emplean un método específico para medir y descargar material basado en el volumen, siendo necesaria una calibración previa dependiendo de las características del producto, de manera que es posible determinar el tiempo de dosificación requerido para

cada lote. Estos sistemas no son capaces de compensar automáticamente los cambios en las propiedades del material, en síntesis, la dosificación volumétrica permite obtener una óptima descarga de material con pequeñas variaciones con respecto al valor deseado siempre y cuando sean productos homogéneos [1] [9].

La dosificación gravimétrica a diferencia de la volumétrica se realiza en función de la masa, es decir que el producto se dosifica dependiendo del peso. Se requiere efectuar el pesaje para cada lote, otorgando el grado más alto de precisión. Este método de dosificación cuenta con un alto porcentaje de inclusión de equipos electrónicos, con los cuales se hace un constante monitoreo del valor real con respecto al valor deseado, de tal manera que se efectúan modificaciones que garantizan la cantidad de material, siendo capaz de reaccionar ante las variaciones en las propiedades de los materiales; otra ventaja de este sistema son los datos que se manejan, facilitando la implementación de un software de supervisión [10].

Dosificadores volumétricos: son utilizados para el manejo de productos con características físicas homogéneas, por ejemplo: líquidos, polvos, cereales y granos. En la Tabla 1.1 se referencian los 3 sistemas más comunes [10] [11].

| Dosificadores Volumétricos | | |
|---|---|--|
| Dosificador por tornillo sin fín. | Dosificador de bomba. | Dosificador alveolar. |
| Utilizados para productos en polvo, pastas, cremas y en general productos viscosos o con características físicas poco homogéneas. | Utilizado con sustancias viscosas y pastosas que presentan problemas de fluidez, por ejemplo: grasa, cera, miel y salsas. | También conocido como dosificador de compuerta rotativa, presenta construcción simple y robusta pero con poca precisión. |

Fuente: Propia

Tabla 1.1: Dosificadores volumétricos.

Dosificadores por peso: el uso de estos dosificadores presenta un costo elevado, en este caso se efectúa el pesaje por medio de sistemas electrónicos. El elemento principal se conoce como célula o celda de carga, mediante el cual se convierte la fuerza aplicada en una señal eléctrica que es enviada según el protocolo de comunicación establecido, efectuando el control en la dosificación; por tal motivo estos dosificadores permiten obtener cantidades dosificadas con un porcentaje de error muy mínimo con respecto al valor deseado. Los materiales que tienen características físicas heterogéneas, son los que generalmente se dosifican por peso [8] [12].

Materiales en el diseño mecánico: es muy importante definir correctamente los materiales de las piezas del dosificador, ya que estarán en contacto directo con el material, por tanto, no pueden alterar las características fisicoquímicas del producto al mismo tiempo que deben garantizar una fluidez óptima [10] [13].

Es fundamental conocer las propiedades de los materiales, puesto que con esa información se definen los cuidados y recomendaciones que deben tener las piezas; las propiedades físicas de

los materiales definen características como el color, la conductividad y el comportamiento óptico, generalmente estas características no se alteran cuando están en funcionamiento; las propiedades mecánicas definen la fuerza que soporta un material (tensión, compresión, impacto) [14].

1.0.3. Control y Medición

El control es una herramienta fundamental para cualquier proceso de ingeniería debido a que permite monitorear y conocer las diversas etapas del proceso. La información del proceso permite actuar, haciendo ajustes correspondientes en pro de que el proceso y/o producto cumpla con los requerimientos correspondientes. Los componentes que constituyen un sistema de control son [2]:

- Sensor.
- Actuador.
- Controlador.

Sensor

Es el dispositivo encargado de convertir una señal física (fuerza, presión, sonido, temperatura, entre otras) y entregar una señal eléctrica, mecánica, etc., dependiendo del sistema de instrumentación implementado; la principal diferencia en cuanto a la señal de salida se encuentra dada por sensores analógicos y sensores digitales, donde cada uno de estos presenta múltiples soluciones que se adecúan a la necesidad de cada proceso [15].

Medidor de nivel en sólidos

La medición de nivel en un fluido es sencilla, debido a que se cuenta con infinidad de alternativas para dicha labor, sin embargo, la medición de sólidos granulares o en polvo como es el caso del presente proyecto presenta grandes retos como se puede observar en la Figura 1.3. Los sólidos granulados tienden a formar grumos y la distribución en el recipiente que lo contiene no es homogénea, por lo cual se deben descartar varios sistemas de medición. Por ejemplo, los sensores de nivel alto y de nivel bajo se descartan por la distribución que presenta el material dentro del recipiente, pudiéndose formar picos y alterando la medida, lo mismo ocurre con los sensores ultrasónicos; las alternativas más comunes para poder efectuar la medición en esta clase de materiales son: galga extensiométrica y celdas de carga (composición de una o más galgas extensiométricas) [16].



Figura 1.3: Ejemplos de sensor de nivel para sólidos.

Fuente: <https://es.slideshare.net/quasar.0360.7912/semana-6-medicion-de-las-principales-magnitudes-presentes-en-la-industria-nivel-y-flujoutpleetseptiembre-2011>

Actuadores

Dispositivos encargados de recibir una señal de control y transformarla en una acción que permita la alteración del proceso. Dependiendo de las condiciones de trabajo, los requerimientos del proceso y las características del producto a tratar se pueden clasificar en:

- **Actuador eléctrico:** es un equipo simple a comparación de los actuadores hidráulicos y neumáticos, debido a que estos requieren de energía eléctrica como única fuente de poder. Los motores eléctricos son bastante usados, en algunos casos se deben complementar con herramientas especiales para tener un funcionamiento adecuado, algunas de las opciones son cajas reductoras o variadores. Los actuadores eléctricos más conocidos son:
 - **Motores DC:** son los más económicos y por tanto los más usados, se constituyen por dos imanes fijados en la armadura y por una serie de bobinas de cobre ubicadas en el eje del motor. El principio de funcionamiento radica en una interacción permanente entre el campo magnético del imán y las bobinas, puede ser por atracción o repulsión, haciendo que el eje del motor gire; algunas características importantes de estos motores son: versatilidad, rango de velocidades, variedad y facilidad de inversión de giro [16].
 - **Motores paso a paso:** la principal diferencia de estos motores con respecto a los motores DC, es que si los motores DC se conectan a la fuente de alimentación, estos giran a su máximo potencial, mientras que los motores paso a paso, únicamente giran un rango determinado y restringido por el número de bobinas.

- Motores AC: estos motores pueden tener alimentación monofásica o trifásica. A nivel industrial los motores trifásicos son los más usados, debido a que presentan mejor eficiencia con respecto a los motores monofásicos. Los motores trifásicos se dividen en: motor síncrono y motor a inducción, siendo el motor de inducción el más utilizado, sin embargo, el motor síncrono es altamente usado en aplicaciones donde se requiere de una velocidad constante o corrección del factor de potencia.
- Relés: es un dispositivo electromagnético que abre o cierra un circuito alimentado por una señal de corriente débil, siendo esta su principal ventaja, ya que es un sistema que permite controlar una potencia elevada con un consumo de potencia reducido. Los relés más utilizados son: electromecánicos y de estado sólido [17].
- Actuador hidráulico: es la mecánica de fluidos aplicada a la ingeniería, de forma que se construyen dispositivos que se alimentan por un fluido a presión, generalmente agua o aceite y se obtiene un movimiento con determinada velocidad o fuerza. Utilizan como fundamento el principio de Pascal, estableciendo que la presión que se aplica en un punto de fluido se transmite con la misma magnitud en cada uno de ellos.
- Actuador neumático: estos actuadores son mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico, son similares a los actuadores hidráulicos, sin embargo, estos presentan mayor rango de compresión, además que varía el uso y la estructura, puesto que tienen poca o nula viscosidad [12] [18].

Controladores

En la industria se cuenta con varios equipos que permiten efectuar el control de un proceso, cada uno de los equipos cuenta con funciones dependiendo de las características del proceso a controlar, entre los más comunes se encuentran: controlador lógico programable (PLC), microprocesador y microcontrolador; la función primordial de estos equipos es leer la señal emitida por los sensores, determinar la acción requerida por el sistema, enviar la señal al actuador correspondiente e informar el estado del proceso.

- PLC: es un equipo electrónico programable, generalmente en lenguaje en escalera (ladder). Aunque en la actualidad se han implementado lenguajes de programación adicionales, este equipo permite controlar en tiempo real un proceso, adicional a esto tiene características de robustez que lo hacen apto para ambientes industriales [10] [19].
- Microcontrolador: es un circuito integrado que cuenta con unidades funcionales como: CPU, Memoria y unidad de E/S. Se puede definir como un computador reducido en tamaño, con una memoria limitada capaz de efectuar el control de uno o varios procesos [12] [16].
- Microprocesador: es el chip más importante de todo ordenador y la unidad central de procesos, capaz de controlar las operaciones de cálculo. El rendimiento de estos equipos está limitado a la placa donde va instalado [16].

Capítulo 2

Requerimientos y parámetros de diseño

2.1. Requerimientos del producto

Prodesic es una empresa que cuenta con un proceso productivo para la realización de coladas a base de cereales que brindan gran sabor y características nutricionales, obteniendo diversos productos en diferentes presentaciones. El producto de referencia para el presente proyecto es la colada de quinua en su etapa de mezclado, este proceso requiere una solución para la adición de los ingredientes, presentados en la Tabla 2.1.

| Azúcar | Avena | Trigo | Quinua | Arroz | Saborizante |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------------|
| 15 kg | 20 kg | 20 kg | 50 kg | 40 kg | 5 kg |

Fuente: Prodesic.

Tabla 2.1: Lista de ingredientes colada de quinua.

2.1.1. Características de la máquina

La empresa tiene un mezclador que tiene una capacidad de 150 kg para ejecutar un proceso que tiene una duración de 15 min. Los tiempos de alimentación del mezclador no están determinados debido a que la velocidad no es un factor importante para el proceso. La abertura del mezclador se encuentra a una altura de 2 m y es ahí donde se situarán las tolvas dosificadoras, de manera que se debe adecuar la parte de la tapa que está fija a la estructura del mezclador. Los tanques de almacenamiento deben tener la capacidad para 2 lotes de producción, estos deben ir a nivel de piso y no pueden ser muy altos para no dificultar su alimentación por parte de los operarios. La higiene es primordial para la empresa puesto que se manipulan alimentos que son de consumo humano, en pro de asegurar estas condiciones se efectúan lavados semanales con agua, jabón e hipoclorito; de tal manera que los materiales de fabricación de los tanques deben ser resistentes

a los procesos de limpieza y el diseño debe facilitar el proceso de mantenimiento.

A partir de las características requeridas para la máquina, las consideraciones que se deben tener para la manipulación de alimentos y las recomendaciones con respecto al producto, se obtienen las siguientes especificaciones:

- Las tolvas de almacenamiento deben tener capacidad mínima de 2 lotes, según el producto que corresponda.
- El sistema debe ser diseñado con protección mínima de IP65, de acuerdo a la resolución 2674 de 2013 en pro de evitar daños en los componentes asociados a los equipos del proceso.
- Sistema de transporte por gravedad descartado, se requiere un mecanismo que permita transportar los ingredientes desde los tanques de almacenamiento ubicados a nivel del piso.
- El material de fabricación de cada una de las piezas mecánicas debe ser estandarizado para alimentos.

2.1.2. Alternativas de diseño

Teniendo en cuenta los requerimientos, características de la máquina y conocimiento del proceso de mezclado para la consecución de productos a base de quinua, se presentan las siguientes 4 alternativas que son capaces de satisfacer las necesidades del proceso. Los requerimientos que se observan en la Tabla 2.2 son un resumen de los parámetros dados por la empresa.

| R | D | Descripción |
|---|---|--|
| X | | El cargue de la materia prima en polvo hacia la tolva se realizará por medio de elevadores con tornillo sin fin, lo cual no se encuentra en la planta. |
| X | | Se debe controlar el volumen del polvo que entra en la tolva. |
| X | | Uso de materiales anticorrosivos e higiénicos para evitar mala calidad en el producto. |
| X | | El diseño debe ser apropiado para evitar fugas. |
| | X | Piezas estandarizadas. |
| X | | El sistema de dosificación debe estar acorde con el tamaño del mezclador. |
| X | | El sistema de dosificación debe contar con protección teniendo en cuenta los procesos de limpieza. |
| | X | Uso de Controlador Lógico Programable en el proceso. |
| X | | La dosificadora debe ser operada automáticamente. |

Fuente: Propia.

Tabla 2.2: Especificaciones dosificador.

R: Requerido.

D: Deseado.

Dosificación alveolar

Sistema de dosificación comúnmente usado para productos en polvo, bastante simple y basado en el volumen. Cuenta con 3 partes importantes que permiten la distribución de la materia prima: la tolva de almacenamiento se encarga de almacenar el producto, una circunferencia ranurada, donde el tamaño y número de las ranuras (alavés) depende del material y un moto reductor que al efectuar el movimiento de los alavés se encarga de distribuir la cantidad de material deseada. El moto reductor tiene 2 funciones primordiales: la primera es entregar el material en determinado tiempo y la segunda y más importante es entregar la cantidad de material requerida, todo esto controlado por el número de vueltas del motor [1]. En la parte izquierda de la Figura 2.1 se ilustran los componentes del dosificador alveolar.

Dosificación por gravedad

Esta alternativa volumétrica presenta una solución económica, puesto que no requiere de motores. Para generar el flujo de material se apoya en la gravedad, de tal manera que el producto almacenado en la tolva se ubica en la gaveta volumétrica, una vez se encuentra a tope se cierra la primera válvula y se abre la segunda para descargar el material en el mezclador. Es de mantenimiento rápido, sencillo y de bajo costo, como consideración especial, debe tener un orificio con un filtro de tela para que ingrese aire a la gaveta y no se presenten atascos de material [12] [18]. En la parte derecha de la Figura 2.1 se ilustran los componentes del dosificador por gravedad.

Dosificación por medición de masa

Sistema con la más alta precisión, por lo que su uso en productos alimenticios y farmacéuticos es bastante común. Cuenta con varios dispositivos electrónicos en pro de cumplir los criterios de exactitud exigidos en el proceso. El principio de funcionamiento consiste en tener uno o más dispositivos de medición, la opción por excelencia son las células de carga, que se componen de varias galgas extensiométricas, por medio de las cuales es posible realizar el pesaje de la tolva, hasta completar el valor requerido. Al finalizar ese proceso las células de carga envían una señal indicando que se cuenta con la cantidad de material deseado, suspendiendo la alimentación de la tolva y cambiando la posición de la válvula para permitir el paso del material [9] [11] [15]. En la parte izquierda de la Figura 2.2 se ilustran los componentes del dosificador por medición de masa.

Dosificación por tornillo sin fin

Método de dosificación volumétrica de uso masivo en productos con características físicas homogéneas, cuenta con una tolva en la cual se almacena el material durante el proceso de do-

sificación para una posterior descarga. Con la ayuda de un moto reductor en conjunto con un tornillo sin fin se realiza la entrega de material, esto lo hace en función del tamaño del paso de rosca del tornillo y el número de vueltas del mismo. Mediante el moto reductor es posible controlar la velocidad de descarga así como la precisión en la entrega, siendo necesarias calibraciones periódicas debido a que cualquier variación en el material influye en cantidad de material entregada [10] [11] [16]. En la parte derecha de la Figura 2.2 se ilustran los componentes del dosificador por tornillo sin fin.

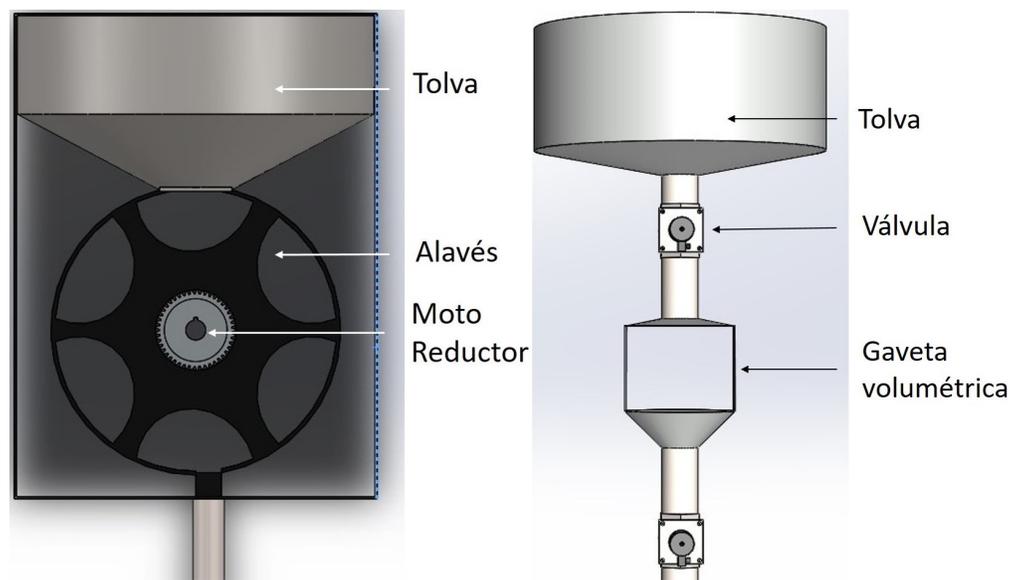


Figura 2.1: Modelo 3D dosificador alveolar y por gravedad.

Fuente: Propia.

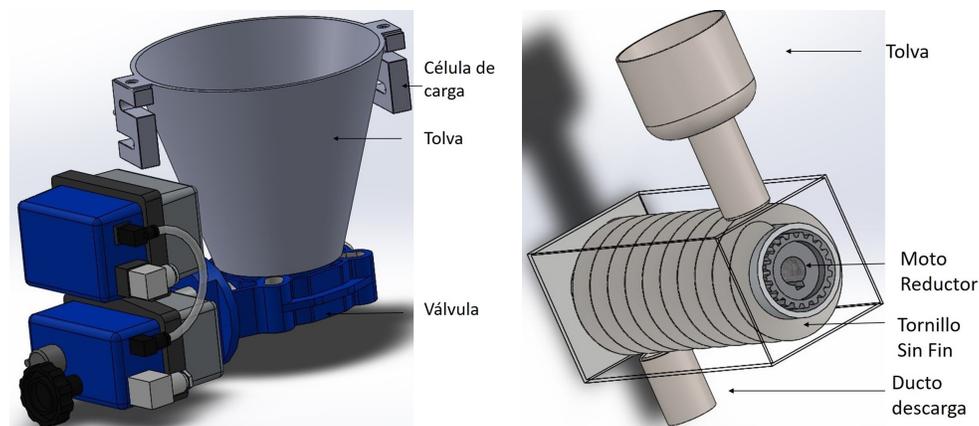


Figura 2.2: Modelo 3D dosificador por medición de masa y por tornillo sin fin.

Fuente: Propia.

2.1.3. Selección de alternativas

A partir de los criterios establecidos por la empresa y la importancia de cada uno de estos dentro del proceso productivo, se evaluaron las 4 alternativas de diseño propuestas, de tal manera que fue seleccionada la propuesta más acorde con la necesidad presente de la empresa.

Método de selección

Como estrategia de selección, se elaboró una matriz que incluye las 4 alternativas con los requerimientos y parámetros establecidos, realizando una evaluación en cada uno de los ítems. En la Tabla 2.3 se pueden observar los criterios de evaluación propuestos en conjunto con la empresa, la Tabla 2.4 establece una calificación cuantitativa de 1 a 5, siendo 1 el valor más bajo y 5 el valor más alto referente al cumplimiento de los parámetros; las Tablas referentes a las alternativas propuestas 2.5, 2.6, 2.7, 2.8 detallan las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas, finalizando con una casilla en la cual se hace la evaluación correspondiente [1] [12].

Criterios de evaluación

- Facilidad de construcción: concerniente con manufactura, ensamble y soldadura para conseguir el diseño.
- Facilidad de operación: facilidad de operación de cada uno de los componentes de la máquina.
- Seguridad: protección que brinda la máquina a los operarios.
- Mantenimiento: capacidad de restablecer las condiciones óptimas del equipo.
- Precisión: cantidad de material entregado por la máquina.
- Costo: presupuesto para poner en marcha el proyecto.

| Ítem | Criterios de evaluación |
|------|----------------------------|
| 1 | Facilidad de construcción. |
| 2 | Facilidad de operación. |
| 3 | Seguridad. |
| 4 | Mantenimiento. |
| 5 | Precisión. |
| 6 | Costo. |

Fuente: Propia.

Tabla 2.3: Criterios para evaluación de alternativas.

Satisfacción de necesidades y cumplimiento de parámetros

- Extra Bajo: necesidad insatisfecha, incumplimiento del parámetro.
- Bajo: necesidad insatisfecha, cumplimiento parcial del parámetro.
- Medio: necesidad abordada, cumplimiento del parámetro.
- Alto: necesidad abordada, cumplimiento oportuno el parámetro.
- Extra Alto: cumplimiento eficaz y eficiente del parámetro, necesidad abordada.

| Satisfacción de necesidades y cumplimiento de parámetros | |
|---|------------|
| 1 | Extra Bajo |
| 2 | Bajo |
| 3 | Medio |
| 4 | Alto |
| 5 | Extra Alto |

Fuente: Propia.

Tabla 2.4: Ponderación numérica.

Alternativa A: Dosificador alveolar

| Dosificación alveolar (A) | | | | |
|----------------------------------|---------------------------|---|--|---------------------|
| Ítem | Criterio | Ventaja | Desventaja | Calificación |
| 1 | Facilidad de construcción | Aletas removibles. | Requiere ajustes por tolerancia. | 3 |
| 2 | Facilidad de operación | Pocos equipos electrónicos. | Desajuste en la aleta. | 4 |
| 3 | Seguridad | Se encuentra sellada y no permite manipulación. | Atrapamiento del operario al realizar mantenimiento. | 4 |
| 4 | Mantenimiento | Alavés y moto reductor removibles. | Ajuste de la aleta al ser removida. | 2 |
| 5 | Precisión | Entrega de material continuo. | Requiere calibraciones periódicas. | 3 |
| 6 | Costo | Mayor vida útil al tener partes removibles. | En caso de ruptura hay que cambiar el alavés. | 3 |

Fuente: Propia.

Tabla 2.5: Alternativa A.

Alternativa B: Dosificador por gravedad

| Dosificación por gravedad (B) | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------|--|--|---------------------|
| Ítem | Criterio | Ventaja | Desventaja | Calificación |
| 1 | Facilidad de construcción | Pocos equipos electrónicos, no presenta motores. | Desgaste al poder manipularse con facilidad. | 4 |
| 2 | Facilidad de operación | Sistema de control temporizado. | Sistema de control débil. | 4 |
| 3 | Seguridad | Piezas pequeñas y livianas. | Deterioro de las partes mecánicas. | 5 |
| 4 | Mantenimiento | Piezas desmontables. | Poca información en cuanto a partes o equipos. | 3 |
| 5 | Precisión | Descargue mediante gravedad. | Propiedades del material. | 4 |
| 6 | Costo | Vida útil extensa al contar con partes removibles. | Diferentes piezas para cambios de recetas. | 4 |

Fuente: Propia.

Tabla 2.6: Alternativa B.

Alternativa C: Dosificador por medición de masas

| Dosificación por medición de masa (C) | | | | |
|--|---------------------------|--|-------------------------------------|---------------------|
| Ítem | Criterio | Ventaja | Desventaja | Calificación |
| 1 | Facilidad de construcción | Pocas piezas mecánicas. | Tiene varias partes móviles. | 3 |
| 2 | Facilidad de operación | Se encuentra sellado. | Equipos electrónicos sensibles. | 4 |
| 3 | Seguridad | Elementos eléctricos cubiertos. | Cuerpo de válvula pesado. | 4 |
| 4 | Mantenimiento | Fácil acceso. | Requiere mayor ajuste. | 4 |
| 5 | Precisión | Mejor control en la cantidad del producto. | Calibración periódica. | 5 |
| 6 | Costo | Tiene menor costo en el mantenimiento. | Tiene más componentes electrónicos. | 3 |

Fuente: Propia.

Tabla 2.7: Alternativa C.

Alternativa D: Dosificador con tornillo sin fin

| Dosificación de tornillo sin fin (D) | | | | |
|---|---------------------------|---|--|---------------------|
| Ítem | Criterio | Ventaja | Desventaja | Calificación |
| 1 | Facilidad de construcción | No requiere ensamble adicional. | Piezas internas. | 3 |
| 2 | Facilidad de operación | No requiere manipulación del operario. | Se presenta una sobre carga por exceso de material. | 4 |
| 3 | Seguridad | Se encuentra sellada y no permite manipulación. | Atrapamiento del operario al realizar mantenimiento. | 3 |
| 4 | Mantenimiento | No tiene partes cambiables. | Requiere ajustes por tolerancia. | 3 |
| 5 | Precisión | Proceso continuo. | Características del material. | 3 |
| 6 | Costo | No tiene partes cambiables. | Al momento de ruptura hay que cambiar el sin fin. | 3 |

Fuente: Propia.

Tabla 2.8: Alternativa D.

La Tabla 2.9 indica las 4 alternativas representadas mediante una abreviación alfabética en orden de presentación, indicando la calificación con respecto a cada uno de los criterios de evaluación.

- A: Dosificador alveolar.
- B: Dosificador por gravedad.
- C: Dosificador por medición de masa.
- D: Dosificador de tornillo sin fin.

| Ítem | Criterios de evaluación | A | B | C | D |
|-------------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | Facilidad de construcción | 3 | 4 | 3 | 3 |
| 2 | Facilidad de operación | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 3 | Seguridad | 4 | 5 | 4 | 3 |
| 4 | Mantenimiento | 2 | 3 | 4 | 3 |
| 5 | Precisión | 3 | 4 | 5 | 3 |
| 6 | Costo | 3 | 4 | 3 | 3 |

Fuente: Propia.

Tabla 2.9: Criterios de evaluación.

La Tabla 2.10 referencia la importancia de los criterios de evaluación para la empresa mediante porcentaje, siendo el ítem más importante la efectividad de descargue, seguido por la seguridad

para los operarios.

| Ítem | Criterios de evaluación | Ponderación |
|------|---------------------------|-------------|
| 1 | Facilidad de construcción | 8 % |
| 2 | Facilidad de operación | 10 % |
| 3 | Seguridad | 25 % |
| 4 | Mantenimiento | 15 % |
| 5 | Precisión | 35 % |
| 6 | Costo | 7 % |

Fuente: Propia.

Tabla 2.10: Ponderación de criterios.

| Ítem | Criterios de evaluación | % | A | B | C | D |
|--------------|---------------------------|------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | Facilidad de construcción | 8 % | 0.24 | 0.32 | 0.24 | 0.24 |
| 2 | Facilidad de operación | 10 % | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| 3 | Seguridad | 25 % | 1 | 1.25 | 1 | 0.75 |
| 4 | Mantenimiento | 15 % | 0.3 | 0.45 | 0.6 | 0.45 |
| 5 | Precisión | 35 % | 1.05 | 1.4 | 1.75 | 1.05 |
| 6 | Costo | 7 % | 0.21 | 0.28 | 0.21 | 0.21 |
| Total | | | 3.2 | 4.1 | 4.2 | 3.1 |

Fuente: Propia.

Tabla 2.11: Matriz de selección.

La Tabla 2.11 muestra las 4 alternativas de diseño de las cuales se relacionan los porcentajes de importancia con respecto a las calificaciones correspondientes en cada ítem, indicando que la mejor alternativa es la C correspondiente a **Dosificador por Medición de Masa**, debido a que cumple satisfactoriamente con los requerimientos de la empresa, a pesar de que la alternativa de diseño de gravedad es una gran opción, teniendo una calificación similar a la de medición de masa. Sin embargo, se escogió la alternativa de medición de masa, por la adaptabilidad que presenta ante cambios en la fórmula, debido a que mediante software es posible ajustar los equipos electrónicos para trabajar con gran variedad de recetas según sea el caso. Por otra parte, el proceso de dosificación por medición de masa fue la propuesta escogida por la empresa debido a su nivel de precisión.

Capítulo 3

Diseño sistema de dosificación automático

Mediante la evaluación de alternativas en el Capítulo 2, se define realizar el diseño de un dosificador gravimétrico, utilizando celdas de carga para la realización del mismo. Para poder llevar a cabo el desarrollo de este objetivo es necesario conocer el espacio disponible para la realización del proyecto, así como los equipos con los que actualmente cuenta la empresa, debido a que se presentan restricciones de diseño; aspectos como altura y ancho se definen teniendo en cuenta el espacio destinado al nuevo equipo, al mismo tiempo que se debe tener en cuenta la estructura para soportar el dosificador propuesto y su acople con el mezclador existente.

- Mezclador: equipo encargado de recibir 6 ingredientes para un proceso de mezclado de 15 min a velocidad constante. Cuenta con una altura de 2 m contando la estructura que lo soporta, el tambor de mezclado tiene una altura de 80 cm, ancho de 67 cm y largo de 90 cm. La Figura 3.1 ilustra el equipo real situado en la planta y la Figura 3.2 ilustra el modelo 3D.



Figura 3.1: Mezclador en la empresa Prodesic.

Fuente: Propia.

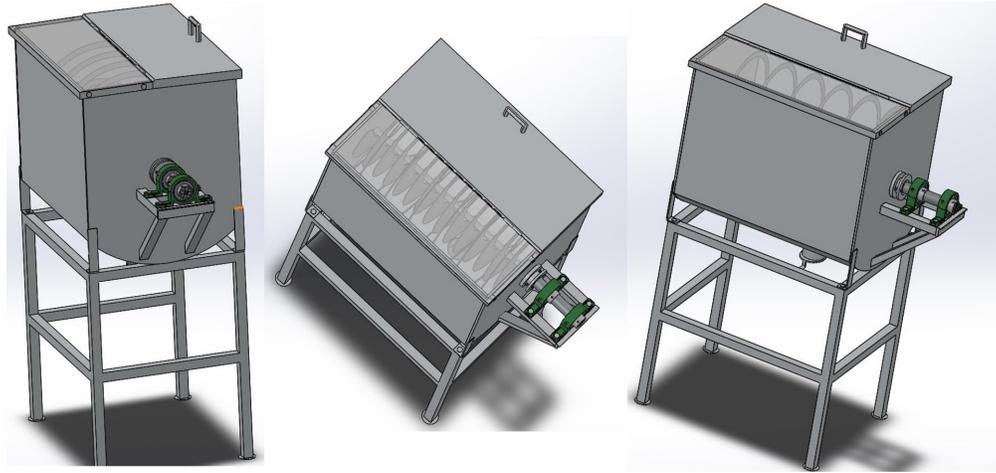


Figura 3.2: Modelo 3D mezclador.

Fuente: Propia.

- Elevador: equipo encargado de recibir la mezcla resultante del mezclador. Mediante una válvula de accionamiento manual ubicada en la parte inferior del mezclador sale la mezcla hacia el elevador; este a su vez entrega la mezcla a otro equipo que se encarga de empaclar en diferentes presentaciones; el elevador tiene una altura de 1.10 m y la tolva tiene medidas de 66 cm por 66 cm. La Figura 3.3 ilustra el equipo real situado en la planta y la Figura 3.4 ilustra el modelo 3D.



Figura 3.3: Elevador en la empresa Prodesic.

Fuente: Propia.

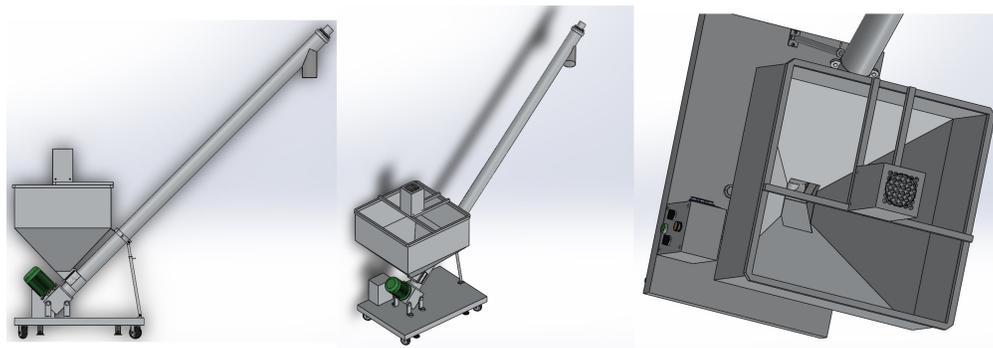


Figura 3.4: Modelo 3D elevador.

Fuente: Propia.

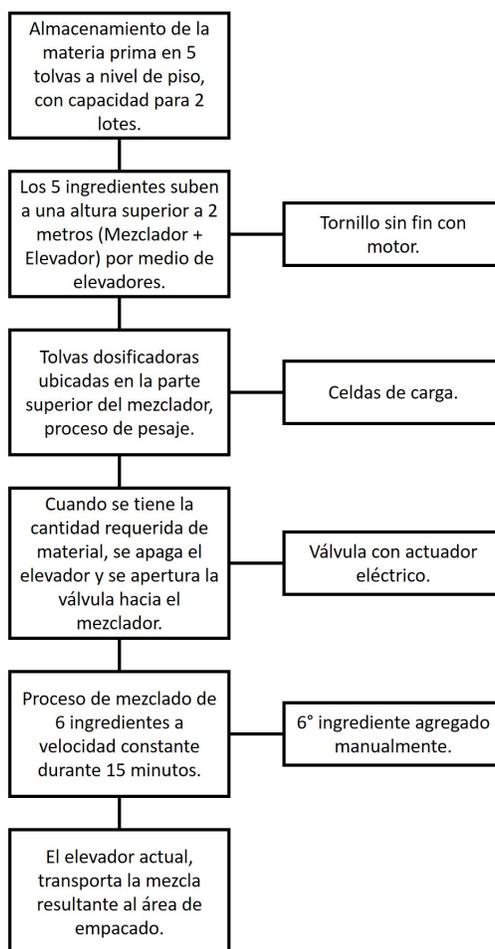


Figura 3.5: Esquema proceso de mezclado.

Fuente: Propia.

Partiendo del diagrama disponible en el Anexo M “Diagrama de Flujo de Proceso”, es posible

entender de manera clara el proceso, de modo que se realiza el esquema ilustrado en la Figura 3.5 mediante el cual se explica el proceso de funcionamiento del sistema de mezclado, teniendo en cuenta los equipos actuales, así como los equipos que deben adaptarse. En este diagrama se logran establecer los componentes que se requieren:

- Sistema de almacenamiento.
- Tolva dosificadora.
 - Sistema de pesaje.
- Sistema de transporte.
- Sistema de control.

La empresa Prodesic cuenta con procesos higiénicos con el fin de obtener productos de calidad, es por este motivo que los equipos actuales son fabricados en acero inoxidable, material por elección para el tratamiento de productos alimenticios, debido a la resistencia a la corrosión y la facilidad en los procesos de limpieza. Los aceros más utilizados en la industria alimenticia son el AISI 316 y el AISI 304, ambos presentan gran calidad y rendimiento óptimo, la principal diferencia es la resistencia a alimentos ácidos presente en el AISI 316, por tanto tiene un precio más elevado debido a que contiene más níquel en su composición química [18].

Además de ser un material estandarizado para procesos relacionados con la manipulación de alimentos, el acero tiene grandes ventajas como la trabajabilidad, es decir, cuenta con una capacidad aceptable de moldear el material de tal forma que se logra la Figura requerida sin aparición de fracturas externas y/o internas; otra característica importante es la resistencia a la corrosión, es decir, la capacidad que tiene el material para retardar el deterioro a causa del entorno que lo rodea [18].

El proceso de fabricación de colada de quinua no requiere de resistencia elevada a productos ácidos, por lo que no cuenta con ingredientes que presenten dichas propiedades, siendo el AISI 304 la alternativa de diseño para las tolvas de almacenamiento y tolvas dosificadoras, así mismo los equipos que estén en contacto directo con los alimentos están restringidos a tener una fabricación en dicho material; como anotación especial se debe tener en cuenta que la aleación debe presentar un acabado liso, de baja rugosidad, con el fin de tener una superficie lo suficientemente lisa, evitando riesgos de grietas, corrosión y facilitando la limpieza [18] [20].

3.0.1. Sistema de Almacenamiento

Para diseñar el sistema de almacenamiento se tiene en cuenta la concentración presente en la mezcla total, para ello se realiza el balance de masa total y parcial. Las entradas y salidas del

sistema se pueden observar en la Figura 3.6 y en el diagrama de flujo de proceso disponible en el Anexo M “Diagrama de Flujo de Proceso”.

$$\text{Balance Total: } [L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 = L7] \quad (3.1)$$

$$\text{Balance Parcial: } [L1X1 + L2X2 + L3X3 + L4X4 + L5X5 + L6X6 = L7X7] \quad (3.2)$$

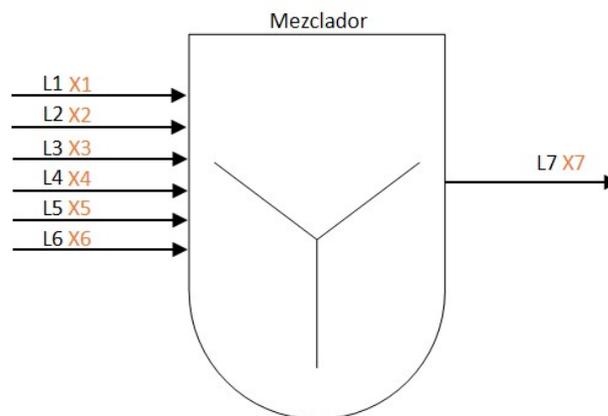


Figura 3.6: Entradas y salidas del mezclador.

Fuente: Propia.

Donde:

- | | |
|--|--|
| ■ L1: Cantidad de trigo [kg]. | X1: Concentración de trigo. |
| ■ L2: Cantidad de avena [kg]. | X2: Concentración de avena. |
| ■ L3: Cantidad de azúcar [kg]. | X3: Concentración de azúcar. |
| ■ L4: Cantidad de arroz [kg]. | X4: Concentración de arroz. |
| ■ L5: Cantidad de saborizante [kg]. | X5: Concentración de saborizante. |
| ■ L6: Cantidad de quinua [kg]. | X6: Concentración de quinua. |
| ■ L7: Cantidad total de los 6 ingredientes [kg]. | X7: Concentración total de los 6 ingredientes. |

Para la preparación de colada de quinua se requiere de 6 ingredientes como se observa en el Capítulo 2 en la Sección 2.1, dando una idea inicial de que se requieren 6 tolvas. Sin embargo, el saborizante tiene un porcentaje poco representativo con respecto a los otros 5 materiales, con lo cual se estudiará la posibilidad de obviar el diseño de esta tolva, debido a que puede salir más

costoso el desarrollo de la misma. Si el análisis de concentración no es favorable, la adición de este ingrediente se realizará de forma manual; de la ecuación (3.3) a la (3.8) se determina la concentración de cada uno de los 6 ingredientes en la mezcla resultante.

$$X1 = \frac{20kg}{150kg} = 0,133 \approx 0,13 = 13\% \quad \text{Trigo} \quad (3.3)$$

$$X2 = \frac{20kg}{150kg} = 0,133 \approx 0,13 = 13\% \quad \text{Avena} \quad (3.4)$$

$$X3 = \frac{15kg}{150kg} = 0,1 \approx 0,1 = 10\% \quad \text{Azúcar} \quad (3.5)$$

$$X4 = \frac{40kg}{150kg} = 0,266666 \approx 0,27 = 27\% \quad \text{Arroz} \quad (3.6)$$

$$X5 = \frac{5kg}{150kg} = 0,03333 \approx 0,03 = 3\% \quad \text{Saborizante} \quad (3.7)$$

$$X6 = \frac{50kg}{150kg} = 0,3333 \approx 0,33 = 33\% \quad \text{Quinua} \quad (3.8)$$

De la ecuación (3.3) a la (3.8) se observa la concentración correspondiente a cada uno de los ingredientes dentro de la mezcla, siendo el saborizante el de menor porcentaje, motivo por el cual se propone que la agregación de este ingrediente sea manual, de tal manera que el tamaño para las tolvas de dosificación no sea tan estrecho, con lo que la empresa está de acuerdo y decide omitir la inclusión del diseño de la tolva para el saborizante.

Para poder determinar las medidas de los tanques de almacenamiento, teniendo en cuenta que se debe cumplir con la restricción de espacio del mezclador, es necesario obtener el área y volumen correspondiente al mezclador, dimensionando las tolvas de almacenamiento a partir de estos datos. Se debe tener en cuenta que el tamaño de las tolvas de almacenamiento debe ser para 2 lotes; mediante la herramienta Solidworks se calcula el área del mezclador, posterior a esto se calcula el volumen del equipo gracias a que se tiene conocimiento de todas las medidas [21].

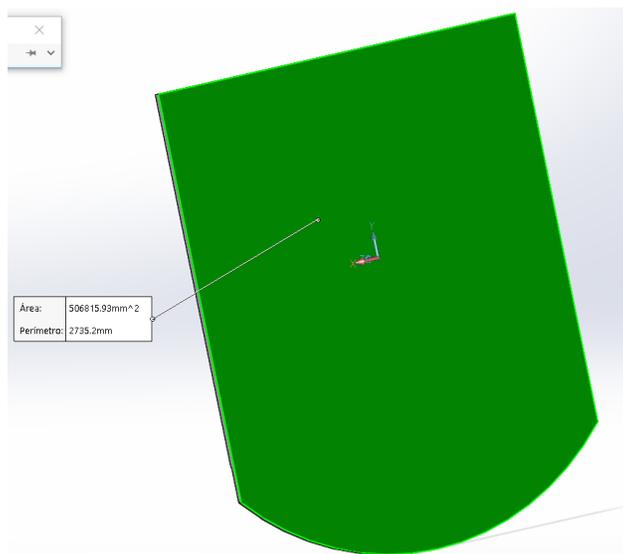


Figura 3.7: Cálculo área mezclador mediante Solidworks.

Fuente: Propia.

| Medidas Mezclador | | | | |
|-------------------|-------|-------|----------------------|----------------------|
| Alto | Ancho | Largo | Área | Volumen |
| 0,8m | 0,67m | 0,9m | 0,5068m ² | 0,4561m ³ |

Fuente: Propia.

Tabla 3.1: Medidas mezclador.

A partir de las concentraciones encontradas en las ecuaciones (3.3) a (3.8), el área y el volumen del mezclador presentados en la Tabla 3.1, se procede a calcular el área correspondiente a cada uno de los ingredientes con la ecuación (3.9), de manera que se replica y se obtienen los resultados presentados en la Tabla 3.2 con el área correspondiente para cada uno de los ingredientes; mediante la ecuación (3.10) se calcula el volumen y en la Tabla 3.3 se muestran los valores correspondientes a cada uno de los ingredientes; para tener un diseño homogéneo de los tanques de almacenamiento, se decide tomar el porcentaje del azúcar como un 13% en vez de 10% tomando como referencia que es un alimento no perecedero que se puede almacenar por tiempos prolongados.

$$A_i = X_i * 0,5068m^2 \quad \text{Área Ingrediente [m]}^2 \quad (3.9)$$

| Área Almacenamiento Ingredientes | | | | |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Trigo | Avena | Azúcar | Arroz | Quinoa |
| 0,07m ² | 0,07m ² | 0,07m ² | 0,14m ² | 0,17m ² |

Fuente: Propia.

Tabla 3.2: Área de tolva de almacenamiento correspondiente a cada ingrediente.

$$V_i = X_i * 0,4561m^3 \quad \text{Volumen Ingrediente } [m]^3 \quad (3.10)$$

| Volumen Almacenamiento Ingredientes | | | | |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Trigo | Avena | Azúcar | Arroz | Quinua |
| 0,06m ³ | 0,06m ³ | 0,06m ³ | 0,12m ³ | 0,15m ³ |

Fuente: Propia.

Tabla 3.3: Volumen de tolva de almacenamiento correspondiente a cada ingrediente.

Debido a que las tolvas de almacenamiento se deben ubicar con respecto a los 90 cm de largo del mezclador, se debe tener en cuenta el porcentaje arrojado en las ecuaciones (3.3) a la (3.8) obteniendo el tamaño de un lado de la tolva mediante la ecuación (3.11) generando los valores presentados en la Tabla 3.4.

$$L_i = X_i * 90cm \quad \text{Largo Ingrediente } [m] \quad (3.11)$$

| Largo Almacenamiento Ingredientes | | | | |
|--|--------------|---------------|--------------|---------------|
| Trigo | Avena | Azúcar | Arroz | Quinua |
| 0,12m | 0,12m | 0,12m | 0,24m | 0,3m |

Fuente: Propia.

Tabla 3.4: Largo de tolva de almacenamiento correspondiente a cada ingrediente.

Para poder calcular el ancho de cada una de las tolvas se divide el área con respecto al largo de cada uno de los materiales, tal y como se indica en la ecuación (3.12), los valores para cada uno de los ingredientes se presentan en la Tabla 3.5.

$$W_i = \frac{A_i}{L_i} \quad \text{Ancho Ingrediente } [m] \quad (3.12)$$

| Ancho Almacenamiento Ingredientes | | | | |
|--|--------------|---------------|--------------|---------------|
| Trigo | Avena | Azúcar | Arroz | Quinua |
| 0,56m | 0,56m | 0,56m | 0,56m | 0,56m |

Fuente: Propia.

Tabla 3.5: Ancho de tolva de almacenamiento correspondiente a cada ingrediente.

Para poder calcular la altura de cada uno de los tanques de almacenamiento y debido a que se conoce el valor de los lados con el que se genera el área y también se conoce el volumen de cada uno de los recipientes, se establece una relación tal y como se observa en la ecuación (3.13) que permite encontrar el valor de la altura correspondiente como se presenta en la Tabla 3.6.

$$H_i = \frac{V_i}{A_i} \quad \text{Altura Ingrediente [m]} \quad (3.13)$$

| Altura Almacenamiento Ingredientes | | | | |
|------------------------------------|-------|--------|-------|--------|
| Trigo | Avena | Azúcar | Arroz | Quinua |
| 0,9m | 0,9m | 0,9m | 0,9m | 0,9m |

Fuente: Propia.

Tabla 3.6: Altura de tolva de almacenamiento correspondiente a cada ingrediente.

Los cálculos antes mencionados son adecuados para un lote de producción, sin embargo, la empresa requiere que se tenga capacidad para dos lotes. En el caso del azúcar se hace una aproximación de 30 kg a 40 kg, para obtener diseños homogéneos en 3 tolvas, esto no genera riesgo en el alimento debido a que el azúcar es un alimento no perecedero siempre y cuando se garantice la higiene del tanque y se mantenga sellado. Por tanto, las cantidades de material que se deben almacenar son:

- Quinua: 100 kg.
- Arroz: 80 kg.
- Avena: 40 kg.
- Trigo: 40 kg.
- Azúcar: 40 kg.

Se debe volver a calcular el porcentaje de concentración con respecto a las cantidades requeridas para 2 lotes, tal y como se observa en las siguientes ecuaciones:

$$X_{1t} = \frac{40kg}{150kg} = 0,2666 \approx 0,27 = 27\% \quad \text{Trigo} \quad (3.14)$$

$$X_{2av} = \frac{40kg}{150kg} = 0,2666 \approx 0,27 = 27\% \quad \text{Avena} \quad (3.15)$$

$$X_{3az} = \frac{40kg}{150kg} = 0,2666 \approx 0,27 = 27\% \quad \text{Azúcar} \quad (3.16)$$

$$X_{4a} = \frac{80kg}{150kg} = 0,53333 \approx 0,53 = 53\% \quad \text{Arroz} \quad (3.17)$$

$$X_{5s} = \frac{10kg}{150kg} = 0,0666 \approx 0,07 = 7\% \quad \text{Saborizante} \quad (3.18)$$

$$X_{6q} = \frac{100kg}{150kg} = 0,6666 \approx 0,67 = 67\% \quad \text{Quinua} \quad (3.19)$$

Con los porcentajes obtenidos de las ecuaciones (3.14) a la (3.19) se calcula nuevamente el área y el volumen mediante las ecuaciones (3.9) y (3.10) de tal manera que se obtienen los resultados presentados en las Tablas 3.7 y 3.8.

| Área Almacenamiento para 2 lotes | | | | |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Trigo | Avena | Azúcar | Arroz | Quinua |
| 0,14m ² | 0,14m ² | 0,14m ² | 0,27m ² | 0,34m ² |

Fuente: Propia.

Tabla 3.7: Área de tolva de almacenamiento correspondiente a cada ingrediente para dos lotes.

| Volumen Almacenamiento para 2 lotes | | | | |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Trigo | Avena | Azúcar | Arroz | Quinua |
| 0,12m ³ | 0,12m ³ | 0,12m ³ | 0,24m ³ | 0,30m ³ |

Fuente: Propia.

Tabla 3.8: Volumen de tolva de almacenamiento correspondiente a cada ingrediente para dos lotes.

Aunque la cantidad de material se incrementó al doble, el tamaño del mezclador sigue siendo el mismo, por tanto, se mantiene la restricción de 90 cm de largo, de modo que la distribución del largo para cada una de las tolvas es la expresada en Tabla 3.4. Con estos datos se procede a calcular el ancho para cada una de las tolvas mediante la ecuación (3.12), obteniendo los valores de la Tabla 3.9; para calcular la altura de los tanques de almacenamiento se utiliza la ecuación (3.13) de manera que se obtienen los valores de la Tabla 3.10. En la Tabla 3.11 se cuenta con un resumen de cada una de las medidas encontradas correspondientes a cada material.

| Ancho Almacenamiento para 2 lotes | | | | |
|--|--------------|---------------|--------------|---------------|
| Trigo | Avena | Azúcar | Arroz | Quinua |
| 1,13m | 1,13m | 1,13m | 1,13m | 1,13m |

Fuente: Propia.

Tabla 3.9: Ancho de tolva de almacenamiento correspondiente a cada ingrediente para dos lotes.

| Altura Almacenamiento para 2 lotes | | | | |
|---|--------------|---------------|--------------|---------------|
| Trigo | Avena | Azúcar | Arroz | Quinua |
| 0,9m | 0,9m | 0,9m | 0,9m | 0,9m |

Fuente: Propia.

Tabla 3.10: Altura de tolva de almacenamiento correspondiente a cada ingrediente para dos lotes.

| Dimensionamiento para 2 lotes de producción | | | | | | | |
|---|------------|--------------------|--------------------|-------|-------|--------|--|
| Materiales | Porcentaje | Área | Volumen | Largo | Ancho | Altura | |
| Trigo 40kg | 27 % | 0,14m ² | 0,12m ³ | 0,12m | 1,13m | 0,9m | |
| Avena 40kg | 27 % | 0,14m ² | 0,12m ³ | 0,12m | 1,13m | 0,9m | |
| Azúcar 40kg | 27 % | 0,14m ² | 0,12m ³ | 0,12m | 1,13m | 0,9m | |
| Arroz 80kg | 53 % | 0,27m ² | 0,24m ³ | 0,24m | 1,13m | 0,9m | |
| Quinoa 100kg | 67 % | 0,34m ² | 0,30m ³ | 0,3m | 1,13m | 0,9m | |

Fuente: Propia.

Tabla 3.11: Dimensionamiento dos lotes de producción para tanques de almacenamiento.

3.0.2. Tolva Dosificación

A partir de la densidad de cada uno de los materiales representada en la Tabla 3.12 y las cantidades de materiales mencionadas en el Capítulo 2 en la Sección 2.1, es posible calcular el volumen requerido para cada uno de los ingredientes. Teniendo en cuenta la ecuación (3.20) se obtiene el volumen correspondiente para cada uno de los ingredientes como se ilustra de la ecuación (3.21) a la ecuación (3.25) [12] [17] [18].

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (3.20)$$

Donde:

- m : masa [g].
- ρ : densidad [$\frac{g}{cm^3}$].
- V : volumen [cm^3].

| Avena | Arroz | Azúcar | Trigo | Quinoa |
|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| 0.51 g/cm ³ | 0.54 g/cm ³ | 0.56 g/cm ³ | 0.5 g/cm ³ | 0.67 g/cm ³ |

Fuente: Propia.

Tabla 3.12: Densidad de la materia prima.

$$V_{av} = \frac{20000g}{0,51 \frac{g}{cm^3}} \approx 39216cm^3 \quad Avena \quad (3.21)$$

$$V_a = \frac{40000g}{0,54 \frac{g}{cm^3}} \approx 74074cm^3 \quad Arroz \quad (3.22)$$

$$V_{az} = \frac{15000g}{0,56 \frac{g}{cm^3}} \approx 26786cm^3 \quad Azúcar \quad (3.23)$$

$$V_t = \frac{20000g}{0,5 \frac{g}{cm^3}} \approx 40000cm^3 \quad \text{Trigo} \quad (3.24)$$

$$V_q = \frac{50000g}{0,67 \frac{g}{cm^3}} \approx 74627cm^3 \quad \text{Quinua} \quad (3.25)$$

Al conocer el volumen requerido para cada uno de los ingredientes, el de mayor volumen se observa en la ecuación (3.25) correspondiente a la quinua, por lo que el diseño de la tolva se apoyará en dicho volumen, así las 5 tolvas serán diseñadas homogéneamente con las mismas medidas para garantizar un diseño uniforme teniendo en cuenta que las densidades son muy parecidas. Se cuenta con una restricción de espacio de 90 cm con 29 cm en la tapa del mezclador, se debe trabajar en la tapa que esta fija tal y como se observa en la parte derecha de la Figura 3.8 puesto que la otra tapa tiene una apertura de 90°, de manera que si se efectúa la división de 90 cm en una distribución uniforme de 5 tolvas se obtiene que a cada una de las tolvas le corresponde un espacio de 18 cm con 29 cm. De igual manera se cuenta con una restricción de altura debido a que el mezclador en conjunto con el elevador tiene una altura de 2 m y la altura del recinto destinado a estos equipos es de 3.5 m obligando a modificar la altura de los dosificadores así como con la capacidad de cada una de las tolvas; en la Figura 3.8 se puede observar la cubierta del mezclador donde la tapa izquierda cuenta con medidas de 38 cm con 90 cm y la tapa derecha cuenta con medidas 90 cm con 29 cm.

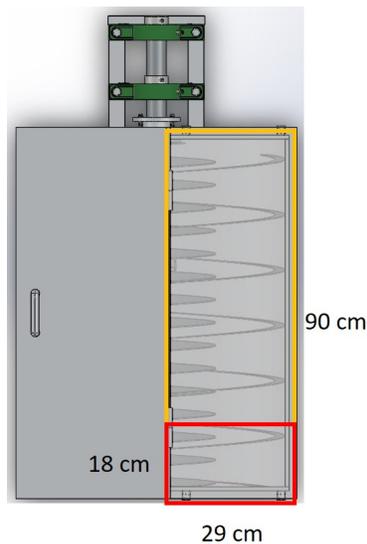


Figura 3.8: Modelo 3D tapa mezclador.

Fuente: Propia.

El diseño de la tolva puede tener diversas formas, entre ellas cónica y piramidal, sin embargo como medida para aprovechar al máximo el espacio reducido con el que se cuenta, se define que

la tolva tenga la forma de un paralelepípedo rectangular en unión con una pirámide, el volumen recaerá sobre el paralelepípedo rectangular y la pirámide tendrá como función primordial facilitar el empalme con el tubo de desfogue conectado al mezclador. La Figura 3.9 ilustra la forma que tendrá el diseño; en la Figura 3.10 se observa el esquema correspondiente a cada Figura geométrica con sus respectivas variables que permiten determinar las ecuaciones (3.26) para el volumen del paralelepípedo y (3.27) para el volumen de la pirámide.

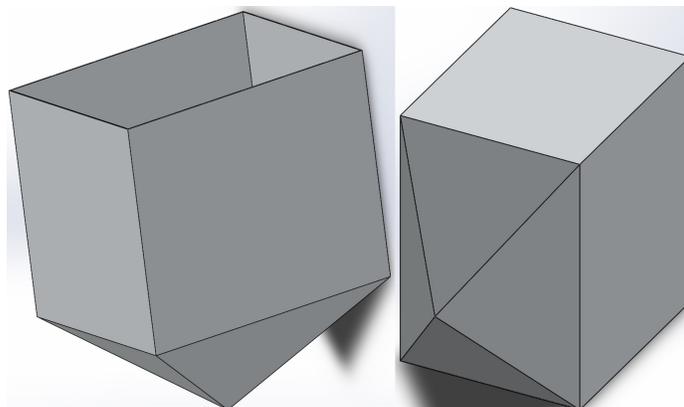


Figura 3.9: Ilustración paralelepípedo rectangular con pirámide.

Fuente: Propia.

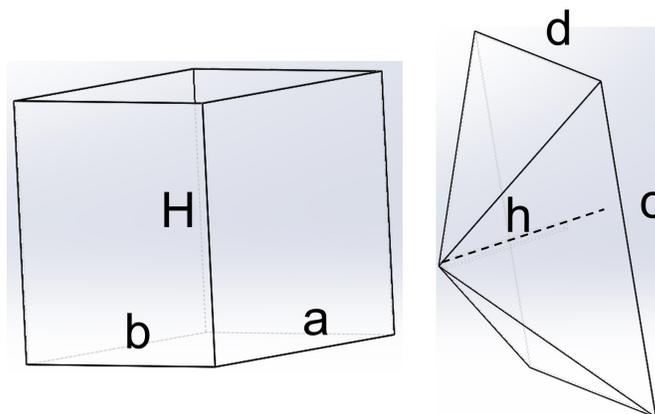


Figura 3.10: Esquemático paralelepípedo rectangular y pirámide.

Fuente: Propia.

$$V = a * b * H \quad (3.26)$$

$$V = \frac{c * d * h}{3} \quad (3.27)$$

Donde:

- V : Volumen [cm^3].
- a : Longitud de la base rectangular paralelepípedo [cm].
- b : Ancho de la base rectangular paralelepípedo [cm].
- H : Altura paralelepípedo [cm].
- c : Longitud de la base rectangular pirámide [cm].
- d : Ancho de la base rectangular pirámide [cm].
- h : Altura pirámide [cm].

Teniendo en cuenta las restricciones de espacio previamente establecidas en la tapa de 18 cm con 29 cm, el volumen requerido establecido en la ecuación (3.25) donde: $V = 74627cm^3$ y partiendo de las ecuaciones (3.26) y (3.27) se tiene como incógnita la altura. Como se mencionó anteriormente la pirámide cumple la función de empalmar el tubo de desfogue, de forma que se fija la altura en 10 cm y se calcula el volumen de la pirámide mediante la ecuación (3.27) obteniendo el valor ilustrado en la ecuación (3.28).

$$V_p = \frac{15 * 29 * 10}{3} = 1450cm^3 \quad (3.28)$$

El volumen total requerido para la quinua es de $74627cm^3$ a lo que se debe restar el volumen de almacenamiento de la pirámide encontrado en la ecuación (3.28). Mediante la ecuación (3.29) se encuentra el volumen de almacenamiento restante, el cual debe ser cubierto por el paralelepípedo rectangular, del que se tiene como incógnita la altura puesto que ya se conoce la medida de los lados y el volumen que debe cubrir, en la ecuación (3.30) se obtiene la altura requerida.

$$V_1 = 74627cm^3 - 1450cm^3 = 73177cm^3 \quad (3.29)$$

$$H_{p1} = \frac{73177cm^3}{15cm * 29cm} \approx 168,22cm \quad (3.30)$$

La ecuación (3.30) indica que la altura del paralelepípedo rectangular es de 1.68 m, lo cual no se acopla con la restricción de altura que tiene el recinto de la empresa, por tal motivo se propone que las tolvas tengan una capacidad reducida y mediante repeticiones se logre la capacidad requerida, es decir, se tendrá capacidad limitada, con lo que se tiene que repetir el proceso N veces; la cantidad a dosificar por cada una de las tolvas será de 5 kg, debido a que todas las cantidades de materiales son múltiplos de 5, para cada uno de los casos el software será el encargado de verificar las cantidades requeridas.

Tomando como referencia una masa de 5 kg, se escogió la densidad del trigo para poder obtener el mayor volumen posible, además la densidad de los 5 ingredientes es similar; en la ecuación (3.31) se calcula el volumen para 5 kg de material y de la ecuación (3.28) se conoce el volumen de almacenamiento de la pirámide, con lo cual en la ecuación (3.32) se hace la resta respectiva para saber el volumen de almacenamiento restante que debe cubrir el paralelepípedo.

$$V_{1t} = \frac{5000g}{0,5 \frac{g}{cm^3}} = 10000cm^3 \quad Trigo \quad (3.31)$$

$$V_2 = 10000cm^3 - 1450cm^3 = 8550cm^3 \quad (3.32)$$

Partiendo de la ecuación (3.26) se procede a calcular la altura del paralelepípedo, obteniendo el valor representado en la ecuación (3.33), valor que sufre una aproximación hacia adelante con el fin de no dejar la tolva exacta y evitar derramamientos.

$$H_{p2} = \frac{8550cm^3}{15cm * 29cm} = 19,656cm \approx 20cm \quad (3.33)$$

A partir de la Tabla 3.12 donde se presentan los valores de la densidad de cada uno de los materiales y la ecuación (3.33) en conjunto con la altura establecida para la pirámide, arrojan que la altura final para las tolvas de dosificación es de 30 cm. Con estos datos es posible estimar la presión en cada una de las tolvas mediante la ecuación (3.34), de tal manera que se obtienen los resultados presentados en la Tabla 3.13, todo esto para saber las fuerzas que debe resistir cada una de las tolvas y poder escoger un material con las características adecuadas, como es el caso del grosor de la lámina de acero inoxidable.

$$P = \rho * g * h \quad (3.34)$$

- P : Presión [Pa]. ρ : Densidad [$\frac{kg}{m^3}$] g : Gravedad [$\frac{m}{s^2}$]. h : Altura [m].

| Presión en tolvas dosificadoras | | | | |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Trigo | Avena | Azúcar | Arroz | Quinoa |
| 1470 Pa | 1499.4 Pa | 1646.4 Pa | 1587.6 Pa | 1969.8 Pa |

Fuente: Propia.

Tabla 3.13: Presión correspondiente para cada ingrediente.

Teniendo en cuenta que las tolvas quedan a una altura considerable, es necesario que se encuentren selladas. Se diseñó una tapa en dos partes como se observa en la Figura 3.11, ya que debe ser fácil de limpiar, las dos partes se deslizan por la tolva para poder ser retiradas o colocadas.

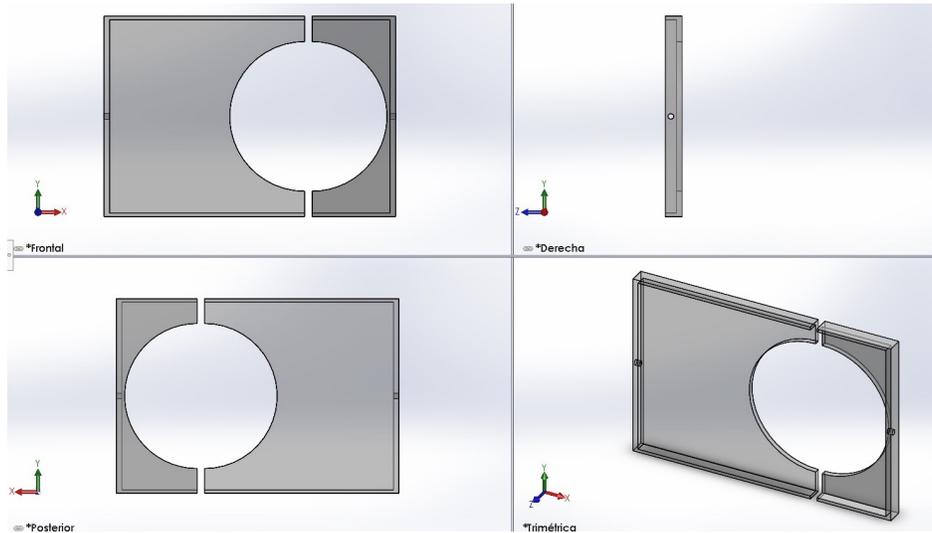


Figura 3.11: Modelo 3D de la tapa de la tolva.

Fuente: Propia.

En la Figura 3.12 se ilustra la representación en 3D de la tolva de dosificación, en ella se pueden observar los orificios para la tapa, un acrílico para poder visualizar el material al interior de la tolva y los ajustes para la adecuación de las celdas de carga, además del acople con la válvula. En la Figura 3.13 se puede observar un orificio para poder acoplar el tornillo sin fin que transporta la materia prima. Los planos finales correspondientes al diseño de la tolva, teniendo en cuenta la conexión con la válvula mediante brida, la base que permite la adecuación con el mezclador y el tubo de desfogue, se encuentran disponibles en el Anexo A “Plano Tolva Dosificadora”.

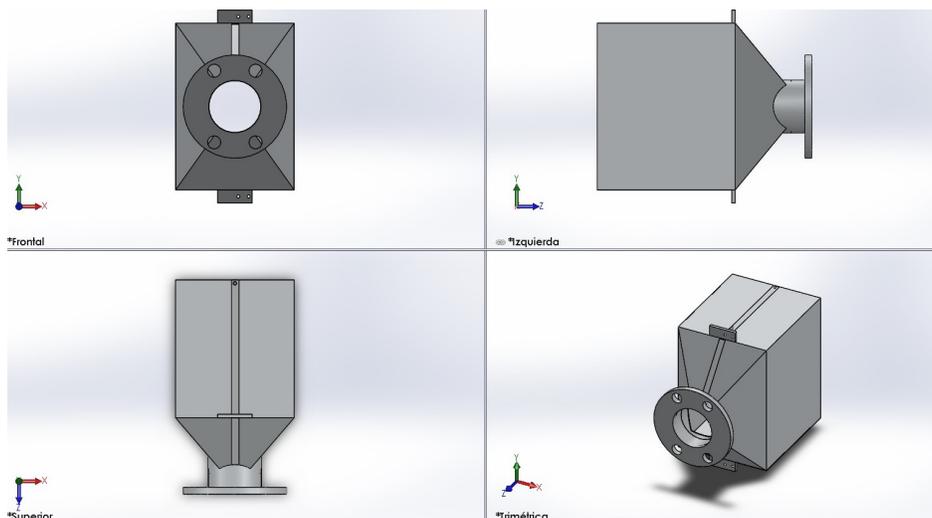


Figura 3.12: Modelo 3D de la tolva de dosificación.

Fuente: Propia.

La conexión de la válvula es tipo wafer, de manera que se requiere que la tolva cuente con una brida, para realizar este acople se tuvo que modificar la forma de la pirámide ensamblando un cilindro. Este acople altera el volumen encontrado en la ecuación (3.28), mediante la herramienta Solidworks se obtienen las medidas de la figura recortada para el empalme del cilindro. En la ecuación (3.35) se calculó el volumen de la figura recortada correspondiente a una pirámide de menor tamaño y en la ecuación (3.36) se realiza la resta para determinar el volumen mínimo que debe cubrir el cilindro, finalmente en la ecuación (3.37) se calcula el volumen de almacenamiento que aporta el cilindro; obteniendo el volumen total de la tolva en la ecuación (3.38).

$$V_{pp} = \frac{10,862 * 10,862 * 4,488}{3} = 176,5cm^3 \quad (3.35)$$

$$V_{pT} = 1450cm^3 - 176,5cm^3 = 1273,5cm^3 \quad (3.36)$$

$$V_c = \pi * (3,81cm)^2 * 4,488cm = 204,7cm^3 \quad (3.37)$$

$$V_{tolva} = 8550cm^3 + 1273,5cm^3 + 204,7cm^3 = 10028,2cm^3 \quad (3.38)$$

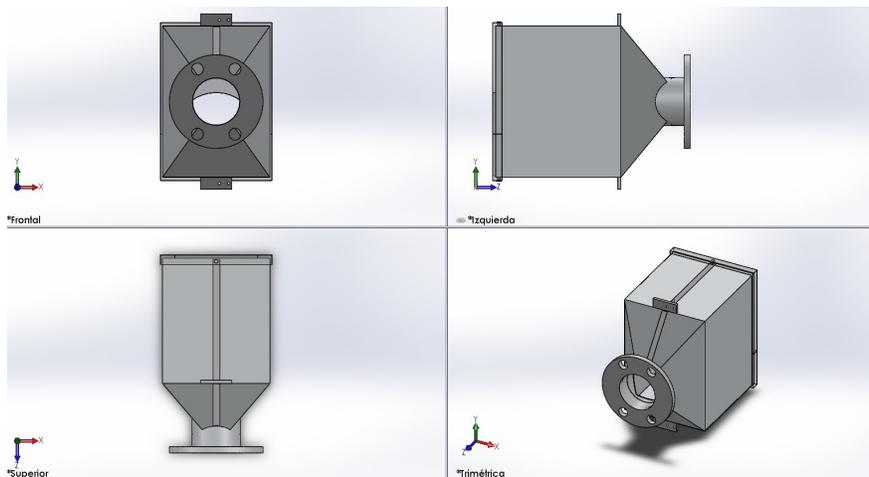


Figura 3.13: Modelo 3D de la tolva de dosificación con tapa.

Fuente: Propia.

3.0.3. Válvula

El diseño de la válvula requiere de la ecuación (3.39) mediante la cual se obtiene el diámetro mínimo requerido para tener un flujo adecuado, así como el caudal mínimo de trabajo del proceso

que servirá para los datos técnicos del tornillo sin fin.

$$Q = C\sqrt{2 * g * \Delta h} * A \quad (3.39)$$

Donde:

- C : Coeficiente de descarga. g : Gravedad [$\frac{m}{s^2}$]. Δh : Diferencial de altura [m].
- Q : Flujo volumétrico [$\frac{m^3}{s}$]. A : Área de la válvula [m^2].

El proceso cuenta con el procesamiento de 150 kg de materia prima en un periodo de 15 min, de manera que es posible obtener el flujo másico como se evidencia en la ecuación (3.40), se debe tener en cuenta que en este flujo de proceso son participes 6 ingredientes, con lo que se obtiene la ecuación (3.41).

Donde:

- G : Flujo másico [$\frac{kg}{s}$].

$$G = \frac{150kg}{15min} = 10 \frac{kg}{min} = 0,17 \frac{kg}{s} \quad (3.40)$$

$$G = \frac{0,17 \frac{kg}{s}}{6} = 0,028 \frac{kg}{s} \quad (3.41)$$

A partir de la ecuación (3.20) se observa que a menor densidad mayor volumen, por ese motivo se trabajará con la materia prima de menor densidad que es la correspondiente al trigo con un valor de $0.5 \frac{g}{cm^3}$ como se observa en la Tabla 3.12, todo esto para hacer los cálculos en el peor de los casos y obtener el dimensionamiento de flujo adecuado para el proceso. Despejando de la ecuación (3.39) todas las variables conocidas, queda como incógnita el área tal y como se observa en la ecuación (3.42). Para poder llevar a cabo esta ecuación es necesario tener el flujo volumétrico, que es la relación del caudal con respecto a la densidad del producto como se ilustra en la ecuación (3.43).

$$A = \frac{Q}{C\sqrt{2 * g * h}} \quad (3.42)$$

$$Q = \frac{G}{\rho_{trigo}} = \frac{0,028 \frac{kg}{s}}{500 \frac{kg}{m^3}} = 0,000056 \frac{m^3}{s} \quad (3.43)$$

Las válvulas tienen un coeficiente de descarga en vez de un coeficiente de caudal teniendo un valor aproximado entre 0.75 y 0.85, para el caso de estudio se asume el peor de los casos con un valor de 0.7. Para la altura también se tiene en cuenta el peor de los casos, es decir, cuando la tolva se encuentra casi descargada con una altura de 10 cm, de tal manera que se tienen los parámetros establecidos para el cálculo del diámetro de la válvula presentados en la Tabla 3.14. En la ecuación (3.44) se encuentra el área mínima requerida por la válvula.

| Parámetros | | | |
|---------------------|--------|------------------------|--------------------------|
| Gravedad | Altura | Coficiente de descarga | Flujo volumétrico |
| $9.8 \frac{m}{s^2}$ | 0.1 m | 0.7 | $0.000056 \frac{m^3}{s}$ |

Fuente: Propia.

Tabla 3.14: Parámetros para el cálculo del área de la válvula.

$$A = \frac{0,000056 \frac{m^3}{s}}{C * \sqrt{2 * 9,8 \frac{m}{s^2} * 0,1m}} = 57,1mm^2 \quad (3.44)$$

La ecuación (3.45) indica la fórmula para obtener el valor mínimo de área requerido para la válvula, sin embargo, como se conoce el área correspondiente se procede a calcular el radio de la válvula en la ecuación (3.46), cuyo valor permite conocer el diámetro mínimo requerido para la válvula de control y el tubo de desfogue presentado en la ecuación (3.47).

$$A = \pi * r^2 \quad (3.45)$$

$$r = \sqrt{\frac{0,0000571m^2}{\pi}} = 4,2632mm \quad (3.46)$$

$$\varnothing = 8,5265mm \quad (3.47)$$

Mediante pruebas caseras como se ilustra en la Figura 3.14, se obtiene que la medida idónea para la válvula y tubo de desfogue es de 3", todo esto debido a la adherencia del polvo que evita tener el comportamiento adecuado de un fluido en válvulas pequeñas; además la válvula requerida no debe ser servo controlada, la única función es abrir o cerrar completamente. Por tal motivo se plantea como parámetro que la válvula a usar sea una válvula mariposa o válvula de bola con actuador eléctrico, todo esto con el fin de economizar en el proceso y no incurrir en gastos adicionales como lo serían las válvulas neumáticas y todo lo que estas conllevan; buscando la referencia comercial de las válvulas se encuentra con la opción de una válvula mariposa con actuador eléctrico que presenta una conexión tipo wafer, la información se encuentra disponible en el Anexo B "Válvula Mariposa con Actuador Eléctrico". La válvula presenta conexión tipo wafer, con lo cual es necesario que el tubo de desfogue y la tolva cuenten con bridas para poder

conectar la válvula y que no se presenten derramamientos, teniendo en cuenta esta condición de diseño, el modelo 3D es el que se ilustra en la Figura 3.15.



Figura 3.14: Pruebas caseras para tubo de desfogue.

Fuente: Propia.

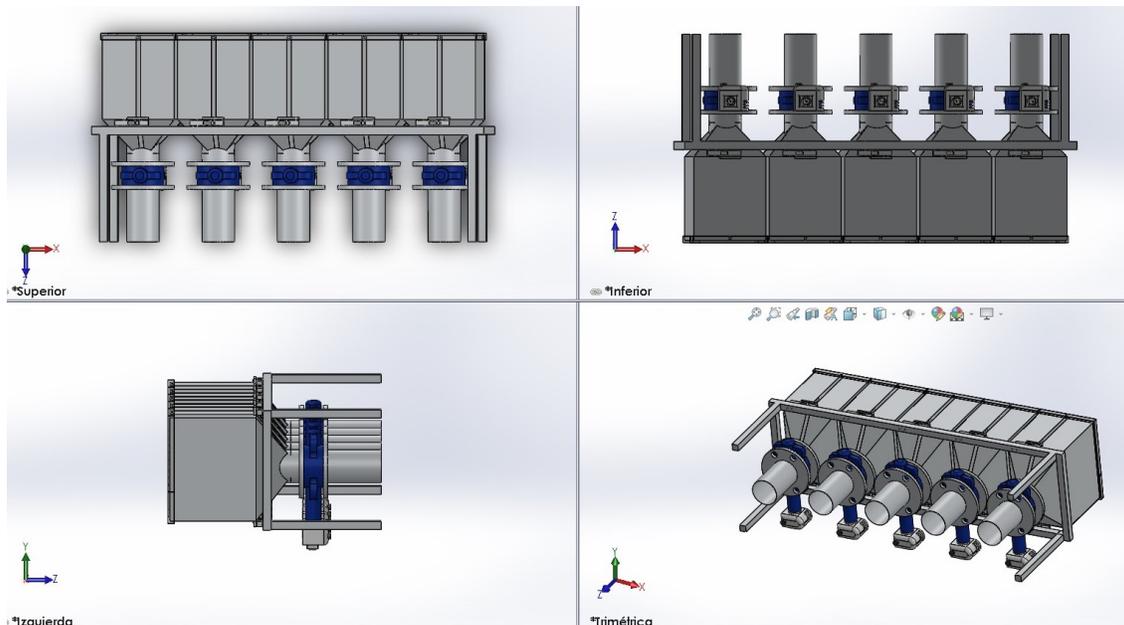


Figura 3.15: Modelo 3D conexión válvula con tolva.

Fuente: Propia.

3.0.4. Sistema de Pesaje

Como se definió en el Capítulo 2 en la Tabla 2.11, la alternativa a utilizar para dosificar los ingredientes es mediante medición de masa, todo esto gracias al uso de equipos conocidos como celdas de carga, encargadas de sensar cada una de las tolvas y según el acondicionamiento de la señal se tienen lecturas en función del tiempo; mediante el siguiente experimento casero se comprobó el funcionamiento y la efectividad de las mismas, para ello se usaron los siguientes equipos:

- Tarjeta Arduino Mega 2560.
- Celdas de carga 1kg (2).
- Transmisor celda de carga HX711.

En la Figura 3.16 se observan 2 celdas de carga, la tarjeta Arduino Mega 2560 y el transmisor de celda de carga HX711. Se realizaron varias pruebas en las cuales se experimentó la medición haciendo uso de una celda de carga, así como experimentos con dos celdas de carga al mismo tiempo.

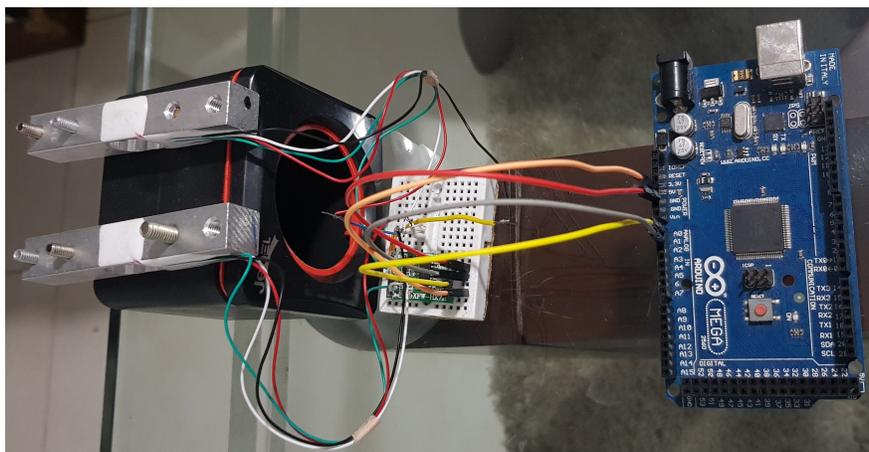


Figura 3.16: Experimento celdas de carga.
Fuente: Propia.

Para la realización del experimento se requirió ajustar las celdas de carga colocando un producto con un peso conocido, de esta manera se calibra correctamente y es posible hacer el proceso de pesaje adecuado. El proceso de ajuste se indica en la Figura 3.17.

afectaciones en el producto final; en la parte izquierda de la Figura 3.19 se ilustra la alternativa que usa una celda de carga para realizar la medición, la cual presentaría mayor dificultad a la hora de equilibrar la carga, pudiendo este ser un problema a largo plazo, sin embargo esta opción resulta ser más económica teniendo en cuenta que si se realiza de esta forma solo se requiere de 5 celdas de carga para el proceso, mientras que si se usa la alternativa con dos celdas de carga, se requiere de 10 celdas de carga, por tanto el cableado también se incrementa.

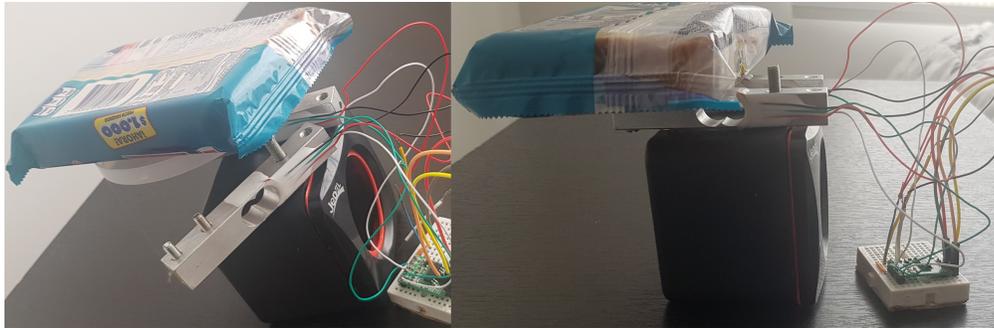


Figura 3.19: Ponqué en pesaje.

Fuente: Propia.

Las celdas de carga requieren de un circuito acondicionador de señal, debido a que la señal entregada por las mismas es una señal analógica de baja amplitud, que no se encuentra estandarizada en un protocolo de comunicación, mediante acondicionadores de señal es posible la conexión con el controlador. Cabe aclarar que esta amplificación es utilizada para las celdas de carga que entregan una señal analógica, debido a que en la actualidad se están desarrollando celdas de carga que entregan una señal digital y no requieren amplificación [8] [9] [22] ¹.

Teniendo en cuenta que la celda de carga soportará el peso de cada uno de los elementos participantes del sistema como lo son: cuerpo de la válvula, actuador eléctrico y tolva dosificadora, se establece la ecuación (3.48) para establecer la capacidad requerida por la celda.

$$Capacidad\ máxima = Peso\ Muerto + Peso\ neto\ máximo \quad (3.48)$$

$$C_{max} = 12kg + 5kg = 17kg \quad (3.49)$$

Según las pruebas realizadas con las celdas de carga y la tarjeta Arduino, se escogió la alternativa con dos celdas de carga para el proceso de dosificación, la razón principal es la facilidad que tiene esta alternativa de equilibrar las cargas a la escala del proyecto y obtener un resultado adecuado, de manera que para este proceso se requiere de 10 celdas de carga y 5 acondicionadores de

¹<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/174849/AD/AD620.html>

señal. Para el pesaje de material en estas tolvas se establece la ecuación (3.49) para determinar que la capacidad de la celda debe ser superior a los 17 kg [8], de manera que se optó por escoger una celda de carga de 20 kg. La opción capaz de satisfacer los requerimientos del proceso es una celda de carga de la marca Lexus² detallada en el Anexo D “Especificaciones Técnicas Celda de Carga”.

A partir de las especificaciones técnicas de la celda se pudo establecer la señal de salida de la celda de carga mediante la siguiente relación:

$$Señal\ máxima = Sensibilidad * Voltaje\ de\ excitación \quad (3.50)$$

$$S_{max} = 0,002V * 12V = 0,024V \quad (3.51)$$

La ecuación (3.50) determina la señal máxima de salida de la celda de carga, a partir del voltaje de excitación establecido por el fabricante, esto quiere decir que cuando la celda de carga tenga 20kg la señal de salida sera de 2.4mV. Al conocer este valor se puede efectuar una regla de 3 relacionando la capacidad de la celda, la carga, la señal máxima y la señal de salida.

| | |
|----------------|-------------------|
| Capacidad [kg] | Señal máxima [mV] |
| Carga [kg] | Salida [mV] |

$$Señal\ de\ salida = \frac{Carga\ [kg] * Señal\ máxima\ [mV]}{Capacidad\ [kg]} \quad (3.52)$$

La señal de salida cuando la tolva está sin el insumo es:

$$S_{out_{min}} = \frac{13kg * 2,4mV}{20kg} = 15,6mV \quad (3.53)$$

Y la señal de salida cuando la tolva está con los 5 kg de insumo es:

$$S_{out_{max}} = \frac{18kg * 2,4mV}{20kg} = 21,6mV \quad (3.54)$$

| Sensibilidad de la celda de carga de 20kg de un solo punto | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 13.05 kg | 13.06 kg | 13.07 kg | 13.08 kg | 13.09 kg | 13.1 kg |
| 15.6 mV | 15.672 mV | 15.684 mV | 15.696 mV | 15.708 mV | 15.72 mV |

Fuente: Propia.

Tabla 3.15: Sensibilidad celda de carga.

²https://www.viaindustrial.com/catalogos_pdf/Celdas_de_carga_single_point-monobloque_Plataformas_30x30_cm_SP06-20_HBM_Catalogo_Ingles.pdf

Teniendo en cuenta la sensibilidad de la carga en 100 g, se calcula la afectación que tendría en el balance de masa, de manera que se obtienen los resultados presentados en la Tabla 3.16 en la cual se puede observar que no presenta alteraciones importantes en el proceso, garantizando calidad en el producto. Los cálculos correspondientes se realizan teniendo en cuenta que la tolva de dosificación realizará el pesaje para 5 kg y para el caso particular de la avena se repite 4 veces, por lo que se podrían tener 4 medidas de error positivas o negativas de 100 gr.

| Balance de Masa Avena | | |
|-----------------------|--------|---------|
| 20.4 kg | 20 kg | 19.6 kg |
| 13.6 % | 13.3 % | 13.06 % |

Fuente: Propia.

Tabla 3.16: Relación balance de masa con celda.

Debido a que la señal entregada por las celdas de carga es de baja amplitud, se requiere de un acondicionador de señal para amplificar la señal, el acondicionador de señal HX711³ de gran uso en la industria médica, permite leer el peso de manera sencilla, convirtiendo una señal analógica a digital mediante un conversor interno A/D de 24bits. Mientras que el acondicionador AD620⁴ es bastante preciso y de gran uso en aplicaciones industriales, tiene una ganancia variable de 1 a 10.000, mediante las especificaciones del fabricante se tiene la ecuación (3.55) para determinar el valor de la resistencia.

$$R_g = \frac{49,4k\Omega}{G - 1} \quad (3.55)$$

Donde:

■ R_g : Resistencia de ganancia [Ω].

G : Ganancia.

$$R_g = \frac{49,4k\Omega}{150 - 1} = 331,5436\Omega \quad (3.56)$$

La referencia comercial de la resistencia es de 330Ω con lo que se debe calcular la ganancia y se obtiene que la ganancia es de 148.7 de modo que se tiene una señal de salida en el rango de 2.3V - 3.2V.

Para los tanques de almacenamiento se usará la opción de una celda de carga, debido a que no se requiere una precisión tan alta como con las tolvas de dosificación, de tal manera que para este proceso se requiere de 5 celdas de carga con 5 acondicionadores de señal. La celda de carga escogida es la tipo S por la capacidad de carga que tiene así como por la resistencia que presenta en su carcasa, garantizando que la vida útil sea prolongada. La función principal

³<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132222/AVIA/HX711.html>

⁴<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/174849/AD/AD620.html>

de estas celdas de carga es indicar cuando se tengan niveles bajos de material, para lo cual se contará con alarmas visuales. Mediante la ecuación (3.48) se determina la capacidad requerida para cada una de las 5 celdas de carga, de manera que se obtienen los resultados propuestos en la Tabla 3.17 y se busca la referencia comercial para las cargas establecidas, obteniendo 2 celdas de carga de la marca Lexus para 100 kg y 200 kg.

Las especificaciones técnicas de las celdas de carga se encuentran disponibles en el Anexo E “Especificaciones Técnicas Celda de Carga Tipo S”.

| Capacidad celdas de carga almacenamiento | | | | | |
|---|-------|-------|--------|--------|--------|
| Ingrediente | Trigo | Avena | Azúcar | Arroz | Quinoa |
| Cantidad | 40 kg | 40 kg | 40 kg | 80 kg | 100 kg |
| Capacidad Max. | 75 kg | 75 kg | 75 kg | 115 kg | 135 kg |

Fuente: Propia.

Tabla 3.17: Capacidad máxima para cada ingrediente.

Mediante la ecuación (3.50) se obtiene la señal de salida cuando las celdas de carga se encuentran con la carga máxima, de manera tal que la señal máxima de salida se muestra en la ecuación (3.57) y los valores de salida se presentan en la Tabla 3.18.

$$S_{max} = 0,002v * 12v = 0,024mv \quad (3.57)$$

| Señal de salida | | | | | |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ingrediente | Trigo | Avena | Azúcar | Arroz | Quinoa |
| 0 kg | 0.84mV | 0.84mV | 0.84mV | 0.42mV | 100 kg |
| 1 lote | 1.32mV | 1.32mV | 1.32mV | 0.9mV | 1.02mV |
| 2 lotes | 1.8mV | 1.84mV | 1.84mV | 1.38mV | 1.62mV |

Fuente: Propia.

Tabla 3.18: Señal de salida para celda de carga para tanques de almacenamiento.

A partir de las señales de salida y de la ecuación (3.55) se calcula el valor de la resistencia para una ganancia de 300. La referencia comercial más cercada es la resistencia de 150 Ω con lo cual se calcula la ganancia y se obtiene que sería de 328.3.

$$R_g = \frac{49,4k\Omega}{300 - 1} = 165,21\Omega \quad (3.58)$$

$$G = \frac{49,4k\Omega}{150\Omega} - 1 = 328,3 \quad (3.59)$$

3.0.5. Sistema de Transporte

El mezclador se encuentra a una distancia de 2 m con respecto al espacio destinado para el sistema dosificador, la altura del mezclador en conjunto con las tolvas dosificadoras es de 2.5 m. Es por este motivo que se requiere de un sistema que sea capaz de llevar las materias primas hacia las tolvas dosificadoras para la dosificación correspondiente y el posterior desfogue. Al tratarse de productos en polvo que tienden a formar grumos se hace habitual el uso de alimentadores por tornillo sin fin. Este sistema hace eficiente la entrega de material y favorece el pesaje debido a que se efectúa un arrastre uniforme del insumo, eliminando los grumos que se forman cuando se tienen grandes cantidades de material en los tanques de almacenamiento.

Los requerimientos del tornillo sin fin se realizan con respecto a los tanques de almacenamiento, se debe calcular el ángulo de inclinación mediante funciones trigonométricas y la longitud del mismo mediante el teorema de Pitágoras teniendo en cuenta que se trata de un triángulo rectángulo. Se procede a calcular la longitud mediante la ecuación (3.60) y para el ángulo de inclinación se usa la ecuación (3.61); de tal manera que se obtienen los valores de las ecuaciones (3.62) y (3.63), pudiéndose comprobar éstas mediante la herramienta Solidworks tal y como se ilustra en la Figura 3.20.

$$a^2 + b^2 = c^2 \quad (3.60)$$

Donde:

■ *a*: Cateto Opuesto.

b: Cateto Adyacente.

c: Hipotenusa.

$$\text{Tan}A = \frac{\text{Cateto Opuesto}}{\text{Cateto Adyacente}} \quad (3.61)$$

$$C = \sqrt{(2m^2) + (2,5m^2)} = \sqrt{4m^2 + 6,25m^2} = \sqrt{10,25m^2} = 3,2015m \quad (3.62)$$

$$A = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{2,5m}{2m}\right) = 51,34^\circ \quad (3.63)$$

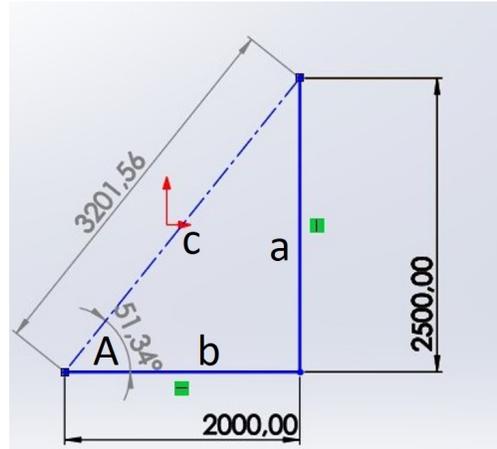


Figura 3.20: Parámetros tornillo sin fin.

Fuente: Propia.

Con los datos encontrados para la válvula y para el sistema de almacenamiento, se procede a verificar los requerimientos del tornillo sin fin, sin embargo, al ser tanques de almacenamiento tan pequeños, se deben adecuar a las opciones comerciales, para ello se plantean los siguientes ítems obteniendo las Figuras 3.21 y 3.22.

- Distancia entre los tanques de almacenamiento y el mezclador: 2 m
- Altura del mezclador en conjunto con las tolvas de dosificación: 2.5 m
- Longitud del tornillo sin fin: 3.2 m
- Ancho de los 5 tanques de almacenamiento en conjunto: 0.9 m
- Ángulo de inclinación de los tornillos sin fin: 51.34°
- Capacidad requerida: $0.000056 \frac{m^3}{s}$
- Número de tolvas: 5

Con los parámetros establecidos se hicieron las cotizaciones correspondientes y en acuerdo con la empresa se obtuvo un diseño que satisface los requerimientos del proceso. El sistema de almacenamiento cumple con los objetivos propuestos de capacidad y la restricción de espacio, salvo la del ancho del tanque de 0.9 m a lo cual se obtiene un ancho de 1.10 m lo que es aceptable para el proceso. El plano está disponible en el Anexo C “Plano Tornillo Sin Fin”, la empresa es la encargada de suministrar el motor, el tornillo sin fin y el sistema de almacenamiento.

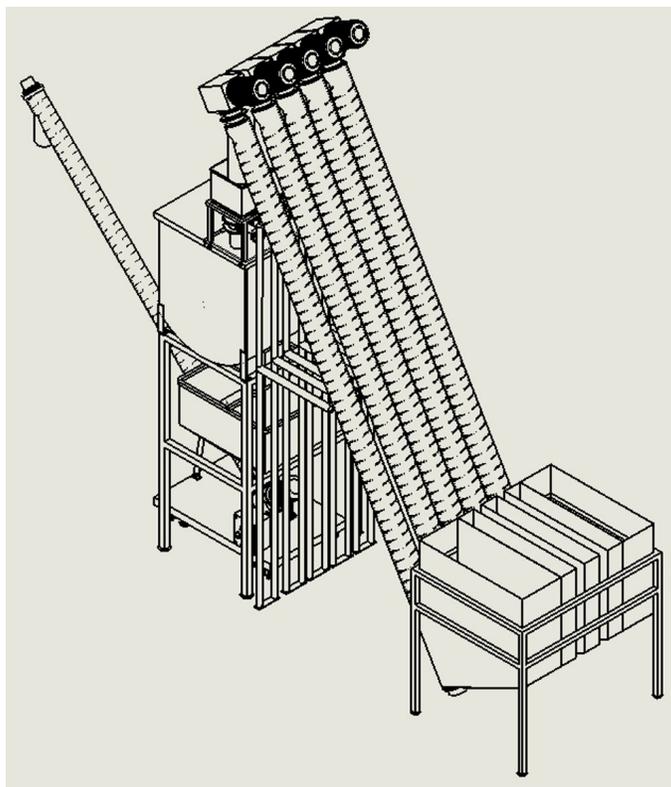


Figura 3.21: Esquemático tornillo sin fin.
Fuente: Propia.

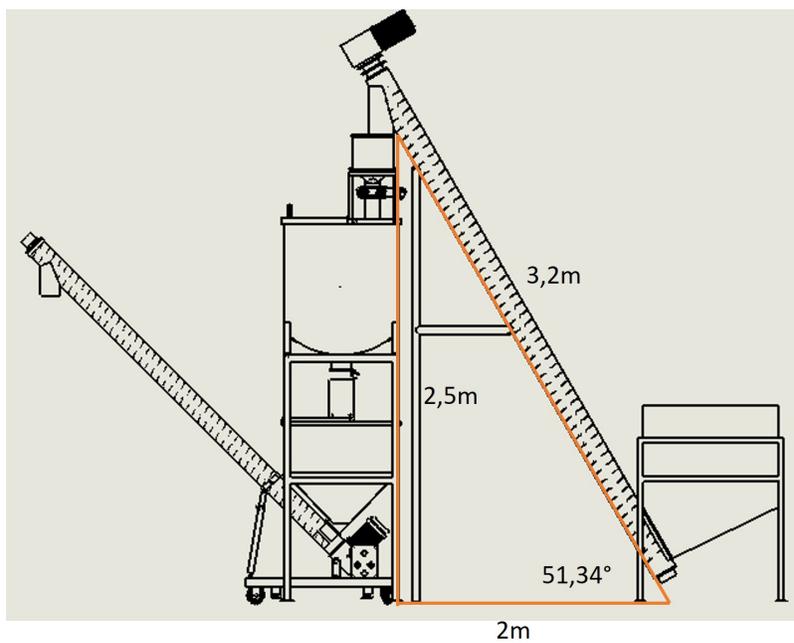


Figura 3.22: Medidas tornillo sin fin.
Fuente: Propia.

3.0.6. Sistema de Control

El sistema de control requiere efectuar la lectura de 15 celdas de carga, 5 celdas de carga indicarán cuando los tanques de almacenamiento estén en niveles bajos de material para realizar la activación de pilotos ubicados en la parte superior de cada uno de los tanques como señal de alarma, las 10 celdas de carga restantes se distribuyen de tal manera que por cada tolva dosificadora se cuenta con 2 celdas y un amplificador de señal, cuando el sensor indique que la tolva cuenta con la capacidad requerida, se desactiva la alimentación del motor y se abre la válvula mariposa para que el insumo pueda llegar al mezclador. Adicional a esto se cuenta con una pantalla táctil como requerimiento de la empresa para efectuar la manipulación de las cantidades en las recetas, así como el monitoreo de las etapas de proceso y producción.

El motor tiene como función principal accionar el tornillo sin fin que transporta la materia prima desde los tanques de almacenamiento hasta las tolvas de dosificación. La recopilación de datos técnicos de los cálculos para el diseño de los tanques de almacenamiento y los cálculos para la válvula, permiten encontrar un equipo comercial que satisface las necesidades requeridas. Este equipo es un motor marca Liming de 2.2 kW trifásico a 220 V con 60 Hz, que se controlará discretamente, es decir, mediante relevos a 220 V se encenderá y apagará el motor correspondiente. Teniendo en cuenta los equipos necesarios para llevar a cabo este proceso se plantean los siguientes requerimientos:

- Entradas Analógicas.
 - 15 celdas de carga con 10 acondicionadores de señal.
- Entradas Digitales.
 - 2 pulsadores.
- Salidas digitales.
 - 5 Pilotos.
 - 5 relevos.
 - 5 Actuadores eléctricos para las válvulas.
- Conexión con pantalla para visualizar interfaz del proceso.

La conexión de las 10 celdas de carga que se ubican en la tolva dosificadora se realiza mediante 5 acondicionadores de señal, esto quiere decir que cada tolva quedará con dos celdas de carga y un acondicionador de señal, promediando la señal emitida por las celdas para obtener una medida acertada. Los 5 tanques de almacenamiento contarán con 5 celdas de carga conectadas a 5 acondicionadores de señal, de manera que para la dosificación y el almacenamiento se requiere de 10 puertos de entrada analógicos, la activación y desactivación del proceso también se puede hacer de forma manual mediante 2 pulsadores que requieren de dos puertos de entrada discretos.

Las salidas son todas señales discretas, 5 puertos para la válvula de accionamiento eléctrico, 5 puertos para los relevos de los motores y 5 puertos para los pilotos que cumplen la función de alarma.

Teniendo en cuenta los requerimientos previamente establecidos, se debe encontrar un equipo que permita la conexión de las 15 celdas de carga así como la conexión de las entradas y salidas digitales. En el mercado se encuentran diversas opciones de controladores, la mayoría de estos no presentan problema con los puertos digitales, sin embargo los puertos analógicos son restringidos, por lo que se requiere un módulo especial para conectar estos equipos, a continuación se explican dos propuestas que satisfacen dichas necesidades [16].

- **Microcontrolador:** herramienta con grandes capacidades y bastante común, pero a diferencia de los controladores lógicos programables, no es adecuado su uso en ambientes hostiles por la poca robustez que presenta, es por este motivo que los precios son menores, sin embargo, las condiciones de trabajo en la empresa Prodesic permiten el uso de estas herramientas. Mediante el experimento casero en conjunto con investigaciones, la tarjeta Arduino Mega 2560 es una solución confiable, de bajo costo, de software libre y con gran variedad de accesorios disponibles. La cantidad de puertos digitales y analógicos satisfacen las condiciones de conexión requeridas por el proceso, la pantalla táctil en cambio requiere una cantidad elevada de puertos para su conexión, sin embargo, la referencia de la pantalla⁵ ofrece una conexión serial, que facilita la conexión de la misma, requiriendo una sola tarjeta para el control del proceso pero se hace necesario el uso de un Screw Shield para facilitar la conexión de sensores y accesorios, sin tener que recurrir a los jumpers de conexión [9]. La conexión de entradas y salidas se encuentra disponible en el Anexo H “Conexión de Entradas y Salidas Arduino”.
- **PLC:** la herramienta a nivel industrial más utilizada para controlar un proceso, por la robustez que presenta y capacidad de ampliación. Se cuenta con gran oferta de equipos de diversos fabricantes, entre los más destacados se tienen: Siemens, Allen Bradley, Schneider Electric, Unitronics, entre otros. En el Anexo F “Comparativa Controladores” se relaciona la marca Unitronics y Siemens, del cual se selecciona el PLC Siemens S71200 debido a que es el único equipo de la lista capaz de ampliar los puertos de entradas analógicas a un total de 10 mediante el módulo SM1231, mientras que los demás equipos aunque ofrecen puertos de salidas digitales necesarias y tienen un precio más bajo se descartan por no satisfacer esta condición de puertos de entradas analógicas [17]. La conexión de las entradas y las salidas se encuentra disponible en el Anexo G “Conexión de Entradas y Salidas PLC”.

En la Figura 3.23 se ilustra el esquema general de un sistema de control realimentado (FeedBack), donde el proceso de control es bastante simple y se puede dividir en dos etapas:

⁵<https://www.buydisplay.com/default/4-3-tft-lcd-display-module-controller-board-serial-spi-i2c-mcu>

- Etapa de almacenamiento: las celdas de carga tipo S deben monitorear el peso de cada uno de los tanques de almacenamiento, cuando el nivel de cada uno de estos sea inferior a lo requerido para 1 lote de producción se debe encender el piloto ubicado en la parte superior de cada tanque, para indicar al operario que debe realizar el llenado del mismo.
- Etapa de dosificación: las celdas de carga de un solo punto deben monitorear el peso de cada una de las tolvas de dosificación, una vez se cumpla la condición de los 5 kg requeridos para cada material, el tornillo sin fin debe parar el suministro de ingredientes del tanque de almacenamiento a la tolva de dosificación y la válvula mariposa que se encuentra cerrada se debe abrir para permitir el paso de los ingredientes al mezclador, este proceso se debe repetir en función de las cantidades requeridas para cada material. En este caso el sensor es la celda de carga y el actuador es la válvula mariposa en conjunto con el tornillo sin fin.

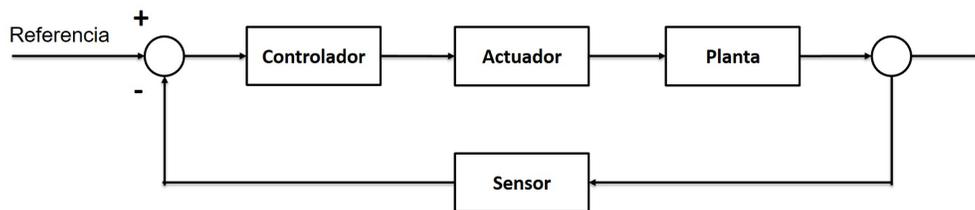


Figura 3.23: Esquema de control Feedback.

Fuente: Propia.

Diseño armario de control

A partir de los sistemas de control propuestos anteriormente, se realiza el diseño del armario para la ubicación de los dispositivos requeridos por el sistema de control, así como la conexión correspondiente de cada uno de ellos, disponible en el Anexo G “Conexión Entradas y Salidas PLC” y el Anexo H “Conexión Entradas y Salidas Arduino”. Teniendo en cuenta que se tienen dos propuestas: PLC y Arduino, se elige realizar el diseño con base en el PLC, todo esto porque es el equipo de mayor tamaño, de manera que el diseño del armario sea apto para cualquiera de los dos escenarios de control, siendo flexible ante mejoras o cambios que a futuro se puedan realizar.

El armario de control se ubicará a 1.5 m de distancia con respecto al dosificador, en el se encuentra una pantalla táctil de 4' que permite monitorear el proceso así como modificar las recetas, se cuenta con dos pulsadores para la puesta en marcha o parada del sistema y un piloto que indica que el armario se encuentra energizado; estos son los únicos equipos visibles en el armario, puesto que se debe garantizar que quede sellado para evitar alteraciones en las señales de control y daños en los componentes.

El dimensionamiento del armario de control se relaciona con el tamaño de los dispositivos de control y protección, se debe tener en cuenta que el armario debe garantizar las condiciones de

temperatura y humedad propias de cada equipo. Para no sufrir afectaciones en los mismos y como buena práctica de diseño, se plantea que los cables de potencia no se relacionen con los cables de control; los elementos del armario de control se presentan en la Tabla 3.19.

| Interior Armario | Exterior Armario |
|---------------------------------|-------------------------|
| Riel. | Pantalla táctil. |
| Canaleta ranurada. | Piloto. |
| Bornera. | Pulsador. |
| Módulos PLC. | |
| Relés electromecánicos. | |
| Relés térmicos. | |
| Contactador trifásico. | |
| Modulo acondicionador de señal. | |
| Fusible | |

Tabla 3.19: Equipos armario de control.

Al interior del armario de control se requiere una rejilla metálica que se encuentre fija, en esta se efectúa la instalación de rieles din 35 de 7.5 mm que permiten una adecuación sencilla y eficaz de los dispositivos, en estos rieles se encuentran ubicados equipos como: CPU, módulo de entradas analógicos, módulo de salidas digitales, fuente de poder, módulo switch para conexión con pantalla, relés electromecánicos, relés térmicos para la protección de los motores, contactores, módulos acondicionadores de señal, fusibles para cortar la energía del armario. En los rieles también se ubican las borneras de potencia que se diferencian de las borneras para las señales de control por la capacidad de corriente que resisten, en la realización del diseño del armario se busca separar la señal de potencia con la señal de control. Las canaletas ranuradas cumplen la función de ordenar el cableado y no dejarlo expuesto.

Para determinar la corriente requerida por los equipos de control se remite a las especificaciones técnicas de cada equipo dadas por el fabricante, estableciendo que la corriente requerida es de 0.5 mA, por tal motivo se establece que los elementos asociados al sistema de control se encuentren en el rango de 0.5 mA - 1 A. En el caso de los sistemas de potencia y debido a que no se cuenta con los datos técnicos del motor, partiendo de la ecuación (3.64) se calcula la corriente requerida para cada uno de los motores tal y como se ilustra en la ecuación (3.65).

$$P = \sqrt{3} * V * I * Fp \quad (3.64)$$

Donde:

- P : Potencia [Kw]. V : Voltaje [V]. I : Corriente [A]. Fp : Factor de potencia

$$I = \frac{2,2Kw}{\sqrt{3} * 209V * 0,8} = 7,21A \quad (3.65)$$

En la Figura 3.24 se observa la distribución de los equipos, de tal manera que en la parte superior del armario se cuenta con los fusibles que permiten la alimentación de los equipos, la conexión de los motores en Y por lo que se cuenta con las 3 fases y el neutro, así como la fuente DC. También se requiere de borneras para las señales de control, encargadas de recibir las señales de las celdas de carga, para que posteriormente pasen a los módulos acondicionadores de señal y lleguen a los puertos de entrada analógicos del PLC. En la parte inferior del armario están ubicados los contactores que son los encargados de controlar los motores trifásicos. A fin proteger los motores ante eventuales sobrecargas se cuenta con relés térmicos, prolongando la vida útil de los mismos. Adicional a estos equipos se cuenta con relevos para accionar los pilotos de los tanques de almacenamiento y los actuadores eléctricos de las válvulas mariposa.

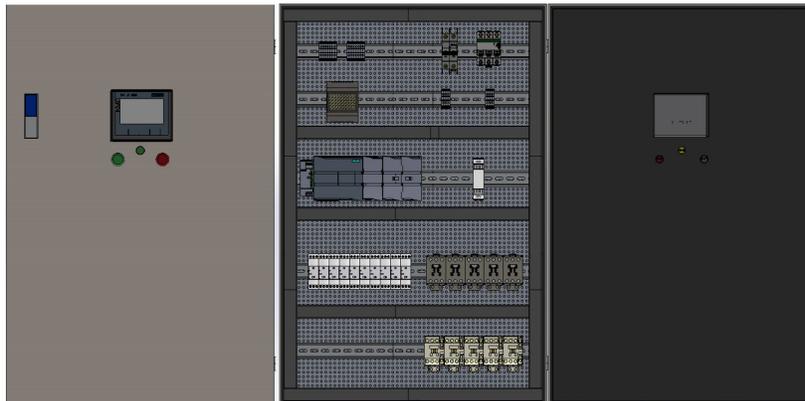


Figura 3.24: Modelo 3D armario de control.

Fuente: Propia.

La tarjeta Arduino al ser menos robusta que el PLC, requiere de ciertos cuidados adicionales para su correcto funcionamiento; en primera instancia se recomienda que la placa no se sitúe sobre una superficie conductora, es por este motivo que en el presupuesto se incluye una protección en acrílico para la tarjeta, además la tarjeta Arduino se situara al interior de una caja metálica con polo a tierra actuando como jaula de Faraday, todo esto para evitar interferencias por inducción debido a los motores. La tarjeta Arduino cuenta con un jack de alimentación externo cuyo voltaje de entrada debe ser de 7 a 12 VDC, si se conecta una fuente menor a 7 VDC el regulador interno de la tarjeta no funcionara correctamente y si se utiliza una fuente mayor a 12VDC se puede causar el sobrecalentamiento del regulador interno lo cual se convierte en una disminución de la vida útil del mismo, además de interrupciones en el servicio, de manera que para no sufrir estas

afectaciones se propone el uso de protectores contra sobretensiones transitorios derivando a la misma tierra de la caja metálica para evitar los picos de tensión y asegurar un umbral seguro de trabajo.

Una vez se tiene el diseño de cada uno de los componentes del sistema dosificador, se obtiene el diseño presente en las Figuras 3.25 y 3.26 donde se puede observar el armario de control, las tolvas dosificadoras en conjunto con las celdas de carga, los tanques de almacenamiento y los tornillos sin fin conectados a los equipos existentes en la empresa Prodesic, mezclador y elevador.

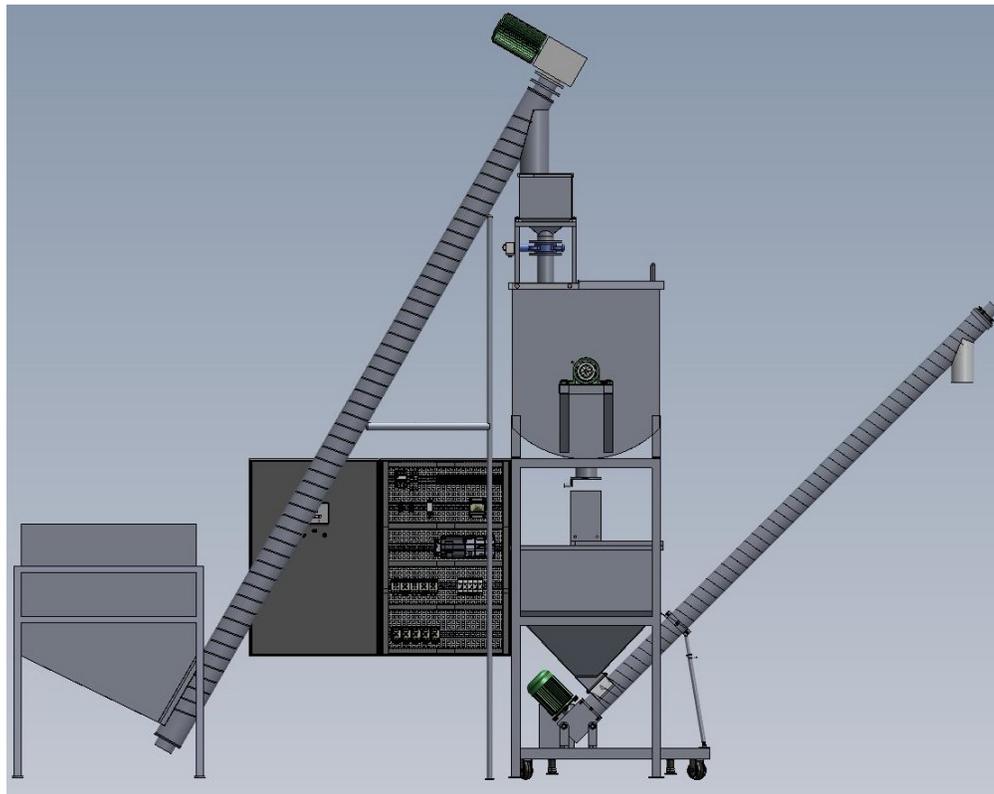


Figura 3.25: Vista frontal sistema de dosificación en 3D.

Fuente: Propia.

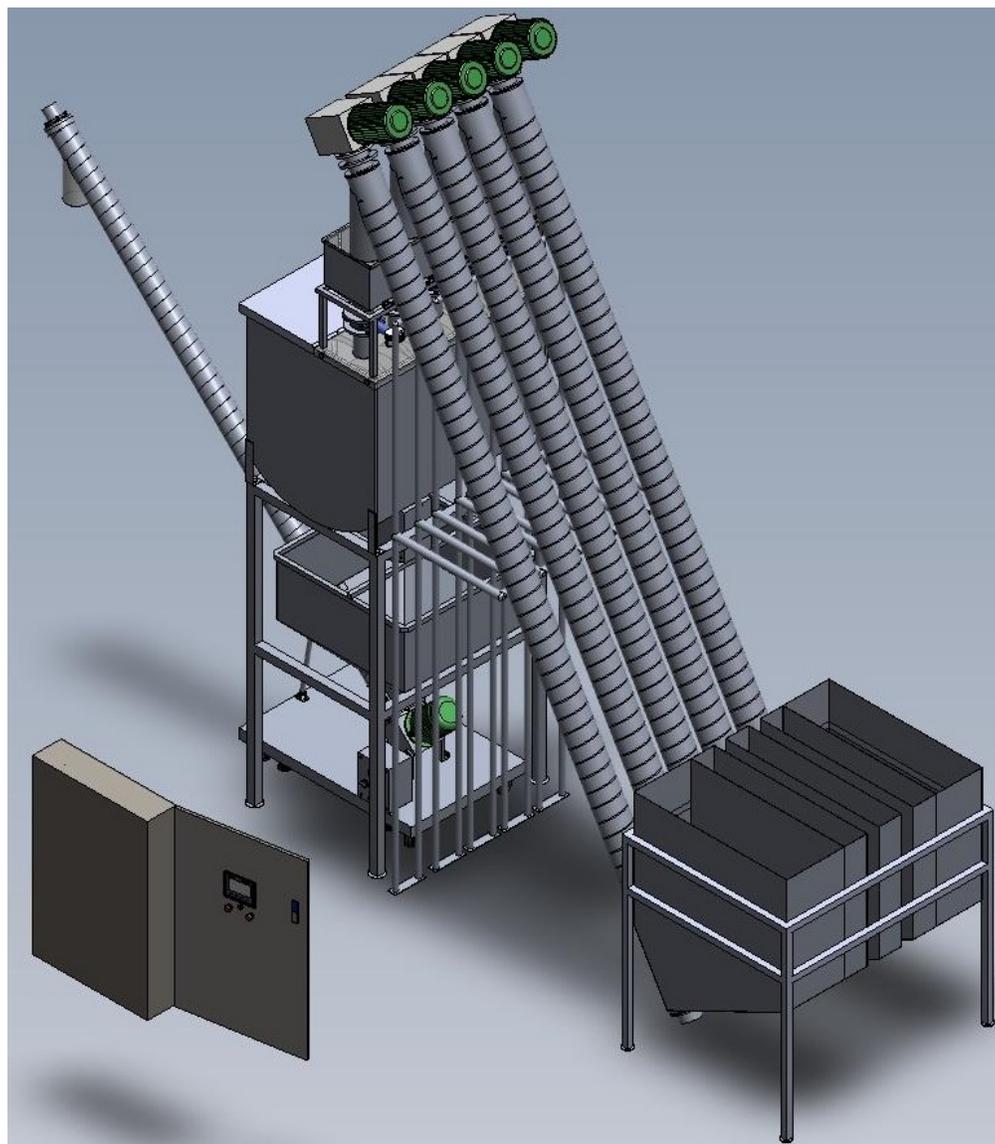


Figura 3.26: Vista isométrica sistema de dosificación en 3D.

Fuente: Propia.

Capítulo 4

Presupuesto de ejecución

A partir del diseño obtenido en el Capítulo 3, los diagramas de conexión para el PLC disponible en el Anexo G: “Conexión Entradas y Salidas PLC”, así como las conexiones requeridas para la tarjeta Arduino disponibles en el Anexo H: “Conexión Entradas y Salidas Arduino”; se obtiene una lista de equipos necesarios para llevar a cabo el sistema automático para la preparación de productos a base de quinua, realizando dos cotizaciones correspondientes a los dos escenarios de control propuestos.

En la Tabla 4.1 se observan los equipos que se requieren para el sistema dosificador, independiente del sistema de control que se ejecute. El set de tanque de almacenamiento incluye los motores y las tolvas respectivas, el motor cuenta con una alimentación trifásica y una corriente superior a los 7 A, por lo que se requiere que los equipos asociados a él tengan esta característica, ejemplo de esto son: borneras, cables, relevos, fusibles; los equipos cotizados presentan una capacidad de amperaje mayor a la requerida. Las celdas de carga requieren de una fuente con mínimo 0.5 mA, el cableado debe soportar el amperaje de las celdas de carga y de las válvulas, por lo cual se escoge un calibre 24 AWG. En la Tabla 4.2 se observan los materiales que hacen parte del proyecto cuyo dimensionamiento depende del tamaño del armario de control y de la distancia del armario con respecto a los equipos en campo. El dimensionamiento de cable tiene en cuenta que por cada motor se requiere de 3 cables, por cada celda de carga se utilizan 4 cables y la distancia del armario con respecto a los equipos es de 1.5 m.

El set de tanque de almacenamiento con tornillo sin fin presenta el valor en dólares, por lo que se toma como referencia el precio del dólar en \$3.312, además de eso el set es enviado desde China hasta el puerto de Buenaventura, por lo que se tiene en cuenta el costo del envío hasta la ciudad de Popayán, las cotizaciones del tornillo sin fin, la válvula con el actuador eléctrico y el transporte se encuentran disponibles en el Anexo K: “Cotización Equipos”.

| Equipos Sistema Dosificador | | | |
|--|----------|--------------|----------------------|
| Elemento | Cantidad | Valor Unidad | Valor Total |
| Tolva dosificación | 5 | \$ 880.000 | \$ 4.400.000 |
| Base metálica para tolva | 1 | \$ 130.000 | \$ 130.000 |
| Válvula mariposa con actuador eléctrico + IVA | 5 | \$ 1.400.000 | \$ 7.000.002 |
| Set tanque almacenamiento con tornillo sin fin y motor | 5 | \$ 6.020.554 | \$ 30.102.770 |
| Transporte Buenaventura - Popayán | 1 | \$ 1.000.000 | \$ 1.000.000 |
| Caja armario | 1 | \$ 407.850 | \$ 407.850 |
| Pulsador 110v | 2 | \$ 6.300 | \$ 12.600 |
| Piloto 110v | 1 | \$ 3.665 | \$ 3.665 |
| Celda de carga 20 kg | 10 | \$ 74.025 | \$ 740.250 |
| Celda de carga 100 kg | 3 | \$ 277.326 | \$ 831.978 |
| Celda de carga 200 kg | 3 | \$ 312.438 | \$ 624.876 |
| Fuente para riel 10vdc 1A | 1 | \$ 66.700 | \$ 66.700 |
| Fusible 10A | 4 | \$ 18.580 | \$ 74.320 |
| Rejilla metálica | 1 | \$ 100.000 | \$ 100.000 |
| Relé térmico 10A | 5 | \$ 28.350 | \$ 141.750 |
| Relé electromecánico 10A | 10 | \$ 14.000 | \$ 140.000 |
| Bornera 1A | 20 | \$ 2.800 | \$ 28.000 |
| Bornera 10A | 10 | \$ 1.800 | \$ 18.000 |
| Total | | | \$ 45.882.759 |

Tabla 4.1: Costo materiales.

Fuente: Propia.

| Elementos Adicionales | | | |
|------------------------------|--------|-----------------|-------------------|
| Elemento | Metros | Valor por metro | Valor Total |
| Canaleta Ranurada 25*25 | 6 | \$ 16.700 | \$ 100.200 |
| Riel Omega | 4 | \$ 5.600 | \$ 22.400 |
| Termoencobible 3 mm | 5 | \$ 696 | \$ 3.480 |
| Tubo Teflon 6 mm | 6 | \$ 6.400 | \$ 38.400 |
| Cable 14 awg | 60 | \$ 1.019 | \$ 61.140 |
| Cable 24 awg | 60 | \$ 1.200 | \$ 72.000 |
| Total | | | \$ 297.620 |

Tabla 4.2: Elementos adicionales por metro.

Fuente: Propia.

Teniendo en cuenta los dos sistemas de control propuestos se realizan las cotizaciones de tal manera que la Tabla 4.3 indica el costo del sistema de control con PLC y la Tabla 4.4 referencia el costo del sistema de control con Arduino, siendo estos los equipos necesarios para llevar a cabo el proyecto.

| Sistema de Control con PLC | | | |
|-----------------------------------|----------|--------------|----------------------|
| Elemento | Cantidad | Valor Unidad | Valor Total |
| CPU 1215C | 1 | \$ 1.674.900 | \$ 1.674.900 |
| Módulo analógico SM 1231 | 1 | \$ 2.125.000 | \$ 2.125.000 |
| Módulo digital SM 1222 | 1 | \$ 2.000.000 | \$ 2.000.000 |
| Switch Ethernet CSM 1277 | 1 | \$ 753.300 | \$ 753.300 |
| Pantalla KTP 400 | 1 | \$ 2.285.000 | \$ 2.285.000 |
| Licencia Simatic Step 7 | 1 | \$ 2.447.000 | \$ 2.447.000 |
| Adaptador celda de carga AD620 | 10 | \$ 3.848 | \$ 38.480 |
| Total | | | \$ 11.323.680 |

Fuente: Propia.

Tabla 4.3: Costo PLC.

| Sistema de Control con Arduino | | | |
|---------------------------------------|----------|--------------|-------------------|
| Elemento | Cantidad | Valor Unidad | Valor Total |
| Arduino Mega 2560 | 1 | \$ 45.791 | \$ 45.791 |
| Screw Shield | 2 | \$ 21.039 | \$ 42.078 |
| Caja en acrílico para Arduino | 1 | \$ 6.760 | \$ 6.760 |
| Caja metálica de protección | 1 | \$ 30.000 | \$ 30.000 |
| Pantalla 4,3 | 1 | \$ 125.856 | \$ 125.856 |
| Adaptador celda de carga AD620 | 10 | \$ 3.848 | \$ 38.480 |
| DPS tipo 2 | 1 | \$ 171.990 | \$ 171.990 |
| Total | | | \$ 460.955 |

Fuente: Propia.

Tabla 4.4: Costo Arduino.

Para poder finalizar el proyecto se requiere de personal capacitado de manera que se realicen las adecuaciones en el recinto, las conexiones, la programación y calibración de los equipos, esto depende del sistema de control a instalar, para la tarjeta Arduino requiere menos tiempo con respecto al PLC. De manera que en la Tabla 4.5 se indica el valor final del proyecto con los dos escenarios de control, siendo notoria la diferencia de costos entre el PLC y la tarjeta Arduino Mega 2560, sin embargo, la solución con PLC es certificada, mientras que el Arduino no dispone de dicha certificación. Los presupuestos completos correspondientes a las dos alternativas de diseño se encuentran disponibles en el Anexo J: "Presupuesto".

| Costo Total Proyecto | |
|-----------------------------|---------------|
| Imprevistos 2 % | \$ 860.209 |
| Total con PLC | \$ 70.704.268 |
| Total con Arduino | \$ 57.541.543 |

Fuente: Propia.

Tabla 4.5: Costo sistema automático para la preparación de productos a base de quinua.

El modelo propuesto cumple con las condiciones propuestas por la empresa, así como con los requerimientos del proceso, sin embargo, la empresa pide estudiar otra opción de dosificación en la cual se cuenta con un tornillo sin fin para el transporte de los 5 ingredientes de manera que se analice el costo total del proyecto. Mediante el estudio de este modelo se encuentra que para poder llevar a cabo dicho prototipo, se requiere de un tornillo sin fin ubicado horizontalmente que interconecte los 5 tanques de almacenamiento y un tornillo sin fin inclinado para la alimentación del mezclador, con este sistema se evitaría el uso de 4 tornillos inclinados de longitud 3.2 m pero se requiere de un tornillo horizontal de 1 m que permita la conexión de los 5 tanques de almacenamiento y un tornillo inclinado de 2.5 m para la alimentación del mezclador, en estos equipos se obtiene una disminución de costos de \$7.000.000, al utilizar este diseño de dos tornillos, se modifica el sistema de dosificación, puesto que no es posible la dosificación directa de los tanques de almacenamiento por medición de masa, debido a la presión que ejerce el material en los tanques, es complicado controlar la cantidad de material a retirar. De manera que para resolver este inconveniente se plantean dos posibles soluciones:

- Colocar una válvula motorizada en la parte inferior de cada uno de los tanques de almacenamiento, de manera que el material se dirija a una tolva pequeña ubicada en la parte inferior de cada una de estas y con una válvula mariposa con actuador eléctrico controlar la cantidad de material en dicha tolva. Esta opción presenta costos más elevados que la opción propuesta, debido a que el costo de las válvulas supera los \$7.000.000 que se disminuyeron en los sets de tornillos sin fin.
- Utilizar dosificación volumétrica en lugar de dosificación gravimétrica, para este caso en particular se estudió la utilización de tornillos sin fin ubicados en cada uno de los tanques de almacenamiento, lo cual repercute en un aumento en el tamaño de los tanques. Realizando la búsqueda comercial de estos equipos se encuentra que los dosificadores por tornillos sin fin comerciales a nivel nacional cuentan con una capacidad reducida de 1 kg y presentan un costo aproximado de \$23.900.000.

La propuesta de diseño de 5 tanques de almacenamiento con 5 tornillos sin fin y 5 tolvas dosificadoras en la parte superior del mezclador es viable económicamente en comparación con los equipos comerciales disponibles en la actualidad. De manera que la empresa se decide por la propuesta con el sistema de control mediante tarjeta Arduino Mega 2560 por el tema de costos en relación a la opción con PLC obteniendo la Tabla 4.6 que indica el tiempo estimado de ejecución del proyecto, la etapa más tardía es la adquisición de equipos, principalmente el set de tornillos sin fin, debido a que la fabricación de los mismos es de 15 días, sin embargo el transporte de China a Colombia tarda un tiempo aproximado de 35 días y sin tener estos equipos no es posible hacer las adecuaciones pertinentes. La evaluación del proyecto por parte de la empresa se encuentra disponible en el Anexo Q: "Aval del proyecto".

| Etapas | | Semanas | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------------|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Adquisición de equipos | Set tornillos | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | |
| | Válvulas | | | | | | | | | | | | |
| | Equipos generales | | | | | | | | | | | | |
| | Tolvas dosificación | | | | | | | | | | | | |
| | Sistema de control | ■ | | | | | | | | | | | |
| Instalación de equipos | General | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | |
| Generación de código | General | | | | | | | | | | | ■ | |
| Configuración de equipos | General | | | | | | | | | | | | ■ |
| Tiempo total | | 12 semanas | | | | | | | | | | | |

Fuente: Propia.

Tabla 4.6: Tiempo estimado de ejecución.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- El proceso de producción de productos a base de quinua debe garantizar condiciones de higiene en los alimentos de manera que se rige bajo la resolución 2674 de 2013. Partiendo de los requerimientos establecidos por la empresa en conjunto con las buenas prácticas para la realización de alimentos se establece como criterio que el material de fabricación de los componentes del sistema dosificador sea en acero inoxidable 304 y los componentes eléctricos sean resistentes a los procesos de limpieza. Se escogió la alternativa de dosificación por peso debido a las grandes ventajas en comparación con los métodos volumétricos, puesto que mediante la utilización de equipos electrónicos como lo son las celdas de carga se tiene un mayor grado de exactitud en la medida, de manera que se obtiene la cantidad necesaria de producto para la receta. Además, se cuenta con gran flexibilidad en el proceso teniendo en cuenta que el criterio de dosificación se basa directamente en el peso del material y no en las características físicas como si lo hace la dosificación volumétrica.
- El balance de masa permitió definir la concentración de cada uno de los ingredientes dentro de la mezcla final, valores que en conjunto con las medidas de los equipos ya existentes en la planta establecieron el tamaño requerido por los tanques de almacenamiento para tener una capacidad de dos lotes de producción, en el diseño de la tolva se tuvo en cuenta la forma de esta, escogiendo la forma de una tolva rectangular en conjunto con una pirámide para aprovechar al máximo el volumen y facilitar el montaje; en estas tolvas se implementó un sistema de verificación de nivel en acrílico, puesto que se encuentran a una altura considerable y se debe evitar algún tipo de contaminación en el producto.
- En el desarrollo de este proyecto se evidenció la importancia de aplicar los conceptos vistos en el Programa de Ingeniería en Automática Industrial proponiendo sistemas simples y adecuados en la dosificación, generando un diseño con gran flexibilidad para futuras mejoras. El

diseño final establece una alternativa real para implementar adecuando los requerimientos de la empresa y del proceso. El software CAD (Solidworks) permitió hacer una idea real del modelo de los equipos y como se vería si fuese implementado.

- El proyecto aportó una solución realizable a la empresa, teniendo en cuenta el costo elevado de los equipos disponibles en el mercado, sin contar que estos requieren adecuaciones conforme a las necesidades del proceso, es por este motivo que el proyecto es ejecutable para la empresa. Para la cotización de los equipos se tuvo en cuenta empresas que garantizaran el cumplimiento de los criterios establecidos, el sistema de transporte por tornillo sin fin es el equipo más costoso del proyecto debido a que cuenta con motores, cajas reductoras y el material de fabricación es en acero inoxidable, motivo por el cual se realizó la cotización de este equipo a una empresa China, donde los costos son considerablemente menores en comparación a los ofrecidos localmente.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda que el ensamblaje del dosificador se realice por personas capacitadas y en las partes fijas utilizar el proceso de soldadura MIG, adecuado para el ensamble del acero inoxidable.
- Sería conveniente adecuar los otros equipos participantes en el proceso de manera que se cuente con un proceso automatizado en su totalidad, aprovechando que la propuesta de diseño presenta flexibilidad para posteriores adecuaciones. La posible implementación de un controlador más completo, de manera que se abarque el mezclador y el elevador. La elección de un sistema de control sencillo como el planteado con tarjeta Arduino Mega 2560 se justifica en la reducción de costos, así como una lógica de control más sencilla.
- Se recomienda actualizar la tabla de presupuestos a la fecha de implementación, puesto que los costos son variables con respecto al dólar y dependen de la vigencia de cada una de las cotizaciones, en la mayoría de cotizaciones se cuenta con una validez no mayor a 30 días.

Bibliografía

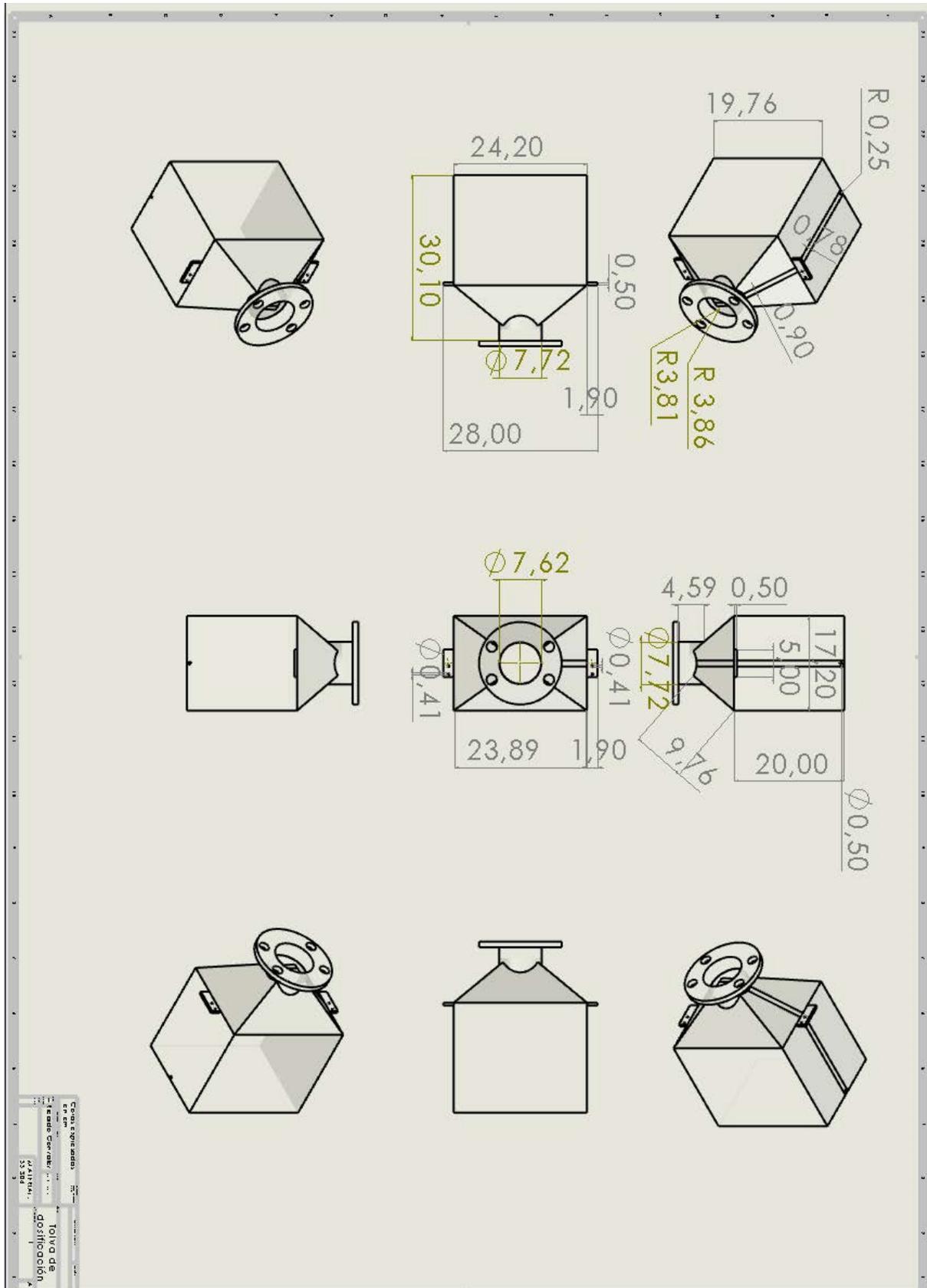
- [1] D. O. Ortiz Martinez and C. D. Zambrano Galeano, “Diseño de un sistema de dosificación volumétrica para jabón en polvo,” B.S. thesis, Fundación Universidad de América, 2017.
- [2] P. F. C. Humberto and H. Durán Sánchez, “Diseño, modelamiento y simulación de maquina dosificadora de alimento granulado para animales.”
- [3] L. Scanlin and K. Lewis, “Chapter 14 - quinoa as a sustainable protein source: Production, nutrition, and processing,” in *Sustainable Protein Sources*, S. R. Nadathur, J. P. Wanasundara, and L. Scanlin, Eds. San Diego: Academic Press, 2017, pp. 223 – 238. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128027783000147>
- [4] M. Á. G. Parra, J. S. Saavedra-Torres, L. F. M. Virgüez, and M. V. P. Fernández, “El desarrollo del cultivo de la quinua,” *Medicina*, vol. 41, no. 1, pp. 65–67, 2019.
- [5] R. J. Carrillo Quevedo and C. A. Montilla Montezuma, “Cálculo de los factores de industrialización, productividad y calidad del clúster agroindustrial de la quinua en el departamento del cauca,” B.S. thesis, 2019.
- [6] Y. Quispe Arcca, “Características nutricionales y propiedades de empastado en harina refinada y sémola de dos variedades de quinua (chenopodium quinoa willd).” 2018.
- [7] R. C. Aiello and D. K. C. Huaca, “Escarificado seco de quinua en lecho fluidizado pulsante,” in *Proc. IEEE Mexican Humanitarian Technology Conf. (MHTC)*, Mar. 2017, pp. 144–148.
- [8] J. A. Navarrete Andino and L. M. Viteri Aguilar, “Construcción de un sistema dosificador por diferencia de pesos para materiales sólidos homogéneos,” B.S. thesis, QUITO/EPN/2011, 2011.
- [9] G. F. Aguirre Acosta, “Sistema de dosificación para una máquina empacadora de snacks,” B.S. thesis, 2018.
- [10] Y. Ortiz Ayala, “Desarrollo de un sistema de dosificación de ingredientes en la elaboración del pan parcialmente automatizado en la compañía alimenticia tu pan gourmet sas,” Ph.D. dissertation, 2019.

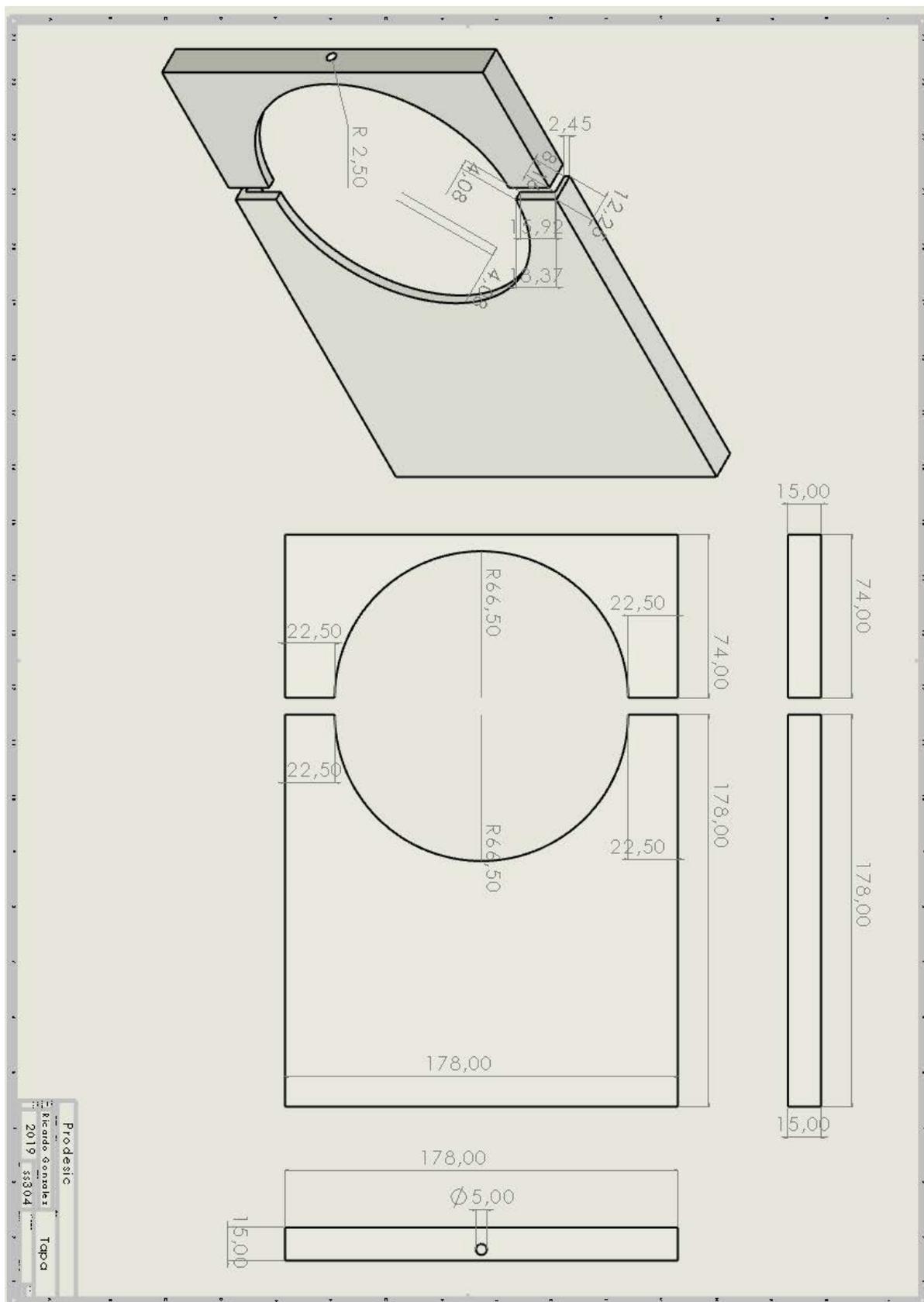
- [11] I. Castro, M. Fernando, and A. F. Medina Carrillo, "Diseño y construcción de una máquina dosificadora y empacadora controlada por plc para la línea de producción de snacks de la empresa ecuamex sa," B.S. thesis, SANGOLQUÍ/ESPE/2013, 2013.
- [12] H. Bellodas, E. Diego, L. Álvarez, and R. Santos, "Diseño de una máquina vertical empacadora, dosificadora y selladora de accionamiento mecánico–neumático controlado por un plc para fundas de arroz," 2018.
- [13] M. de Salud y Protección Social, "Resolución 2674 de 2013," Jul. 2013. [Online]. Available: <http://www.funcionpublica.gov.co/documents/418537/604808/1962.pdf/abe38fb4-e74d-4dcc-b812-52776a9787f6>
- [14] J. E. Shigley, J. K. Nisbett, and R. G. Budynas, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGraw-Hill Interamericana, 2019.
- [15] C. Inga and I. Geovanny, "Diseño y automatización de una máquina ensacadora de cal utilizando un plc para la empresa calizas del chavo." B.S. thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2015.
- [16] A. Florentino and Y. Apaza, "Diseño e implementación de un sistema automático de dosificación para la preparación de concretos en mezcladoras móviles," 2018.
- [17] E. F. Moran Figueroa, "Máquina dosificadora de leche para la alimentación de terneras en la provincia del carchi." B.S. thesis, 2016.
- [18] A. Chiliquina, T. Gabriela, and A. M. Hernández Gordon, "Diseño y construcción de una máquina dosificadora de shampoo con capacidad de 100 litros/hora para la fundación familia salinas." B.S. thesis, 2019.
- [19] R. E. Limo Huamán, "Implementación de un sistema de control semiautomático en silos y tolvas de almacenamiento para mejora de la productividad en el procesamiento de alimento balanceado en una planta del sector avícola," 2017.
- [20] J. Martínez, D. Vaca, M. Orozco, A. Montero, and D. Carrión, "Aplicación de métodos multicriterio para la selección de materiales para menaje de cocinas de inducción," *Revista Técnica Energía*, vol. 11, p. 116, 2015.
- [21] A. Roca, M. Ángel, A. M. Cruz Mejía, L. N. Huamaní Matute, and K. M. Terán Soto, "Diseño, fabricación e instalación de una tolva de capacidad de almacenamiento 960 tm para la avícola xyz," 2016.
- [22] W. A. Armijos Barona and M. A. Sarzosa Villarroel, "Diseño e implementación del sistema de control para pesaje y enfundado de papa picada," B.S. thesis, QUITO/EPN/2014, 2014.

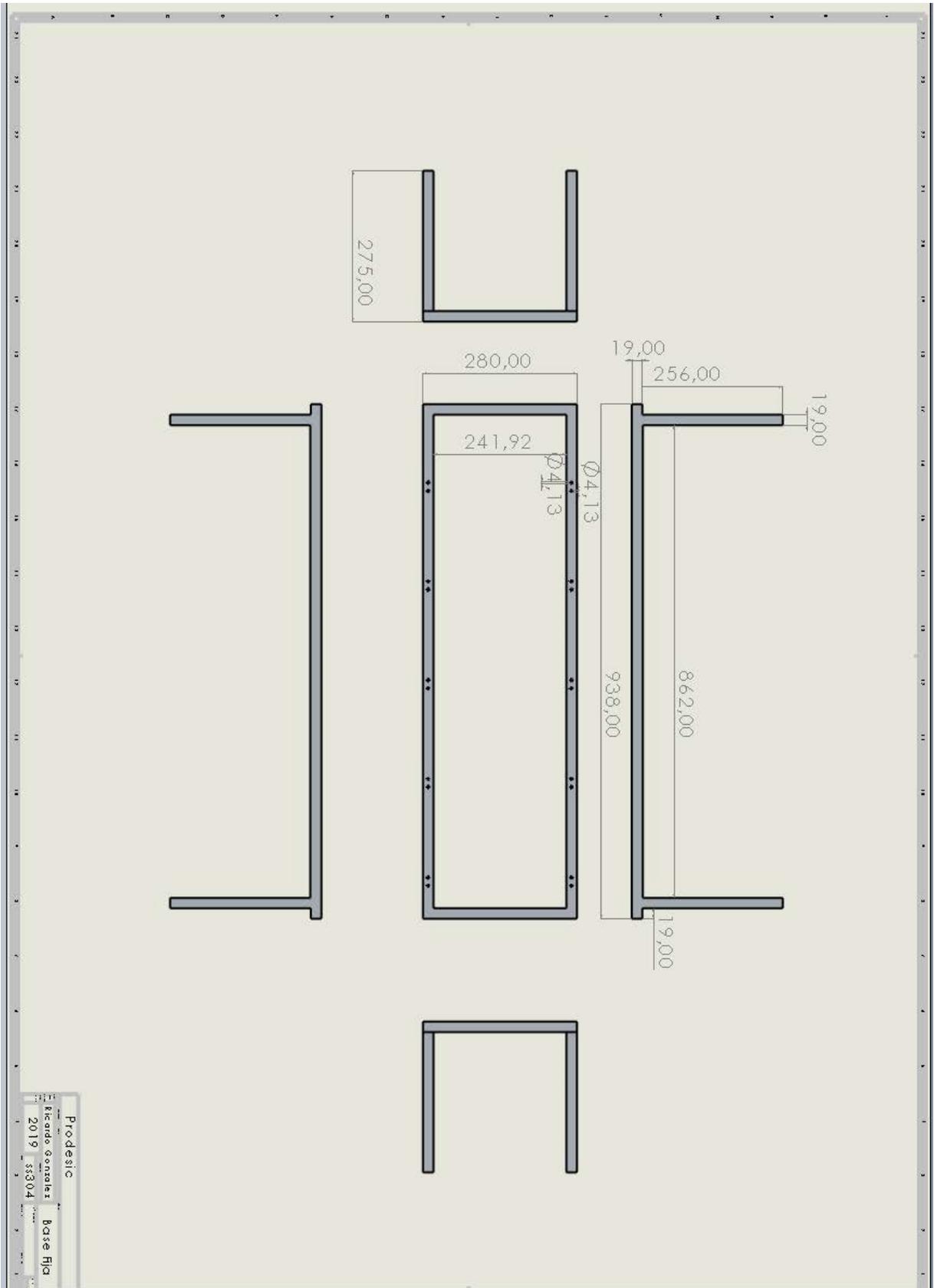
Anexo A

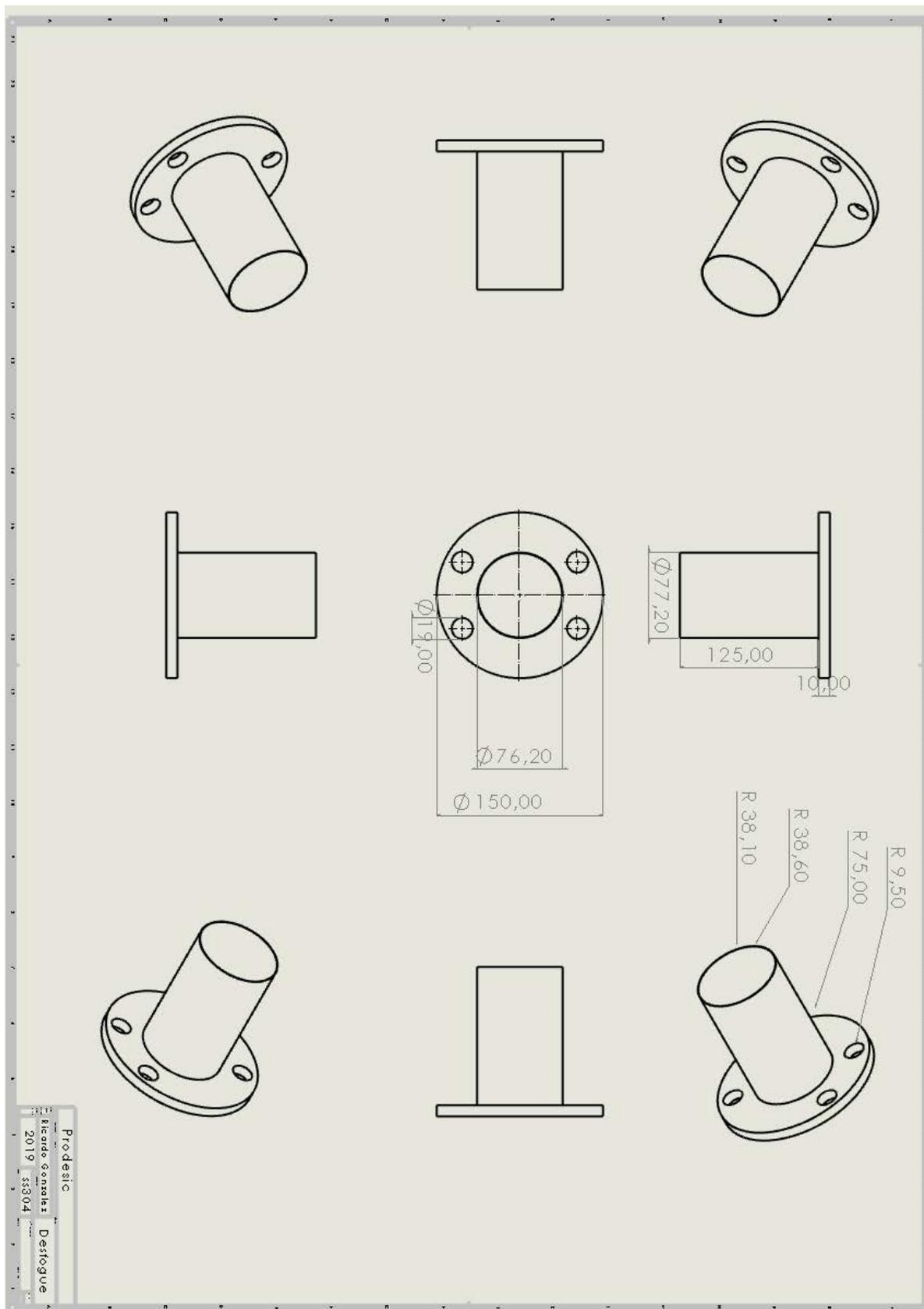
Plano Tolva Dosificadora

Este anexo contiene los planos correspondientes a la tolva de dosificación, la tapa de la tolva que se diseñó en dos partes, la base que se fija al mezclador para sostener la tolva y el tubo de desfogue. Estos planos se desarrollaron mediante la herramienta CAD Solidworks y cuentan con cotas en milímetros.





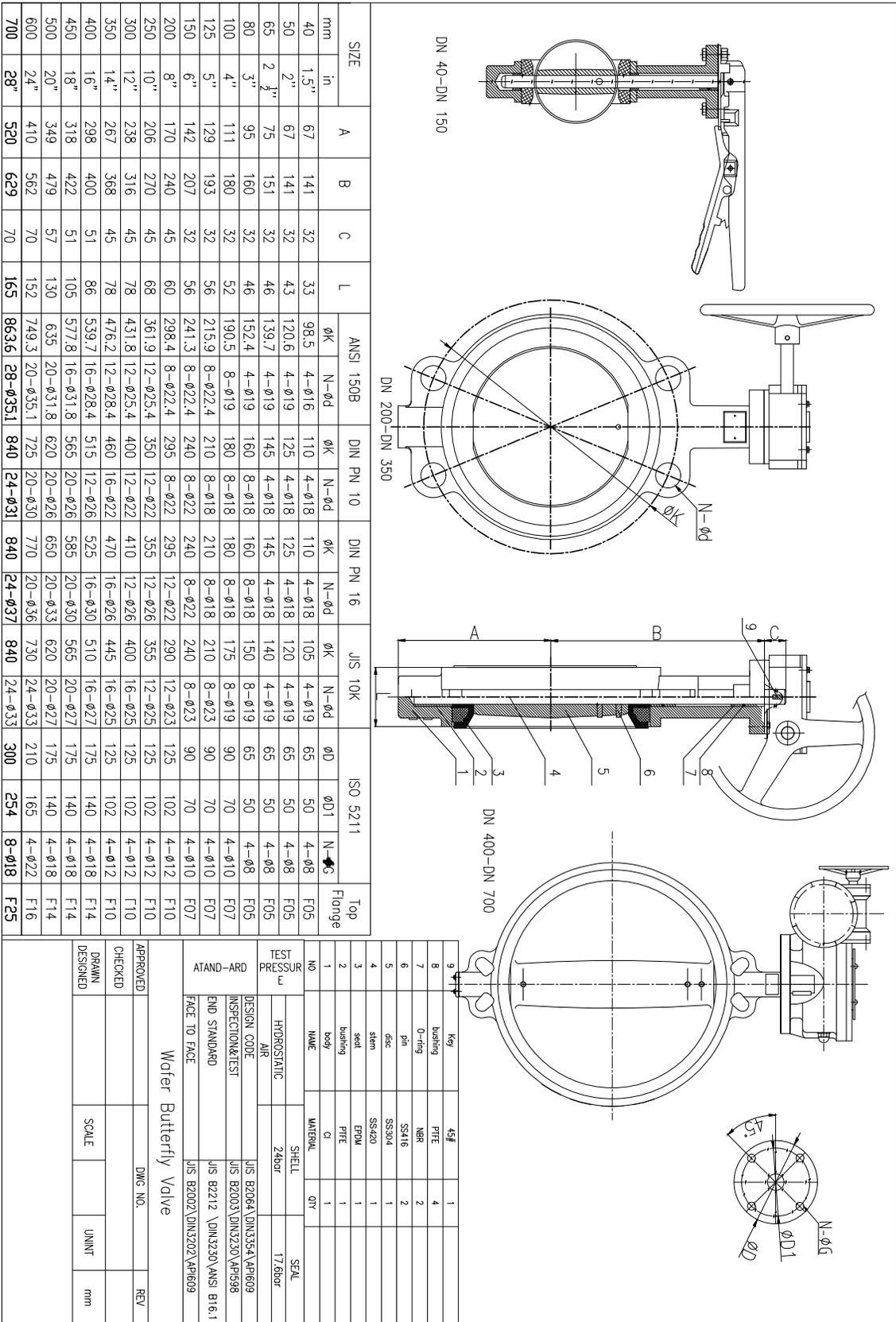




Anexo B

Válvula Mariposa con Actuador Eléctrico

Este anexo contiene las especificaciones técnicas de la válvula mariposa, una lista detalla de las características principales y las opciones de conexión, así como el plano técnico del actuador eléctrico y del cuerpo de la válvula. Para el caso del presente proyecto se realiza el estudio con el actuador eléctrico de referencia **SET100**.



ACTUADOR ELECTRICO ON-OFF



CARACTERISTICAS

| | SET50 | SET100 | SET160 | SET300 | SET600 | SET1250 | SET2500 | SET4000 |
|----------------------------------|--|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Par de salida | 50 Nm | 100 Nm | 160Nm | 300Nm | 600 nm | 1250Nm | 2500Nm | 4000Nm |
| Tiempo de funcionamiento | 20S | 15S / 30S | | | 30S | 100S | 100S | 100S |
| Ángulo de rotación | 0 °-90 ° | 0 °-90 ° | 0 °-90 ° | 0 °-90 ° | 0 °-90 ° | 0 °-90 ° | 0 °-90 ° | 0 °-90 ° |
| Corriente de trabajo | 0,25A | 0,48A | 0,68A | 0,8A | 1,2A | 2A | 2A | 2,7A |
| Potencia de arranque | 0,25A | 0,48A | 0,72A | 0,86A | 1,38A | 2,3A | 2,3A | 3A |
| Fuerza de motor | 10W / F | 25W / F | 30W / F | 40W / F | 90W / F | 100W / F | 120W / F | 140W / F |
| Peso | 3kg | 5kg | 5,5kg | 8kg | 8,5kg | 15 kg | 15,5kg | 16kg |
| Voltajes disponibles | AV220V, AC24V, AC110V, AV220, AC380, DC24V | | | | | | | |
| Error intrínseco | Como máximo ± 0,5% | | | | | | | |
| Diferencia de devolución | menos del 0,3% | | | | | | | |
| Histéresis más banda muerta | 0,1% -1,6 ajustable | | | | | | | |
| Características de amortiguación | Cero | | | | | | | |
| Error de repetibilidad | 0% | | | | | | | |
| Grado de proteccion | IP 65/67 | | | | | | | |
| Angulo de instalacion | 360° | | | | | | | |
| Temperatura ambiente | -30 a 60°C | | | | | | | |
| Opciones de conexión | 1: Conexion con interruptor de límite de posición (estándar) | | | | | | | |
| | 2: Conexion con interruptor de posición neutral (contacto pasivo) | | | | | | | |
| | 3: Conexion con potenciómetro | | | | | | | |
| | 4: Conexion con potenciómetro y interruptor de posición neutral | | | | | | | |
| | 5: Conexion con módulo de control para Aplicaciones de modulación | | | | | | | |
| | 6: Conexion con tres fases 380V estilo de circuitos de control | | | | | | | |
| | 7: Conexion con control motor DC | | | | | | | |
| | 8: Conexion con tres fases 380V, interruptor de posición neutral y potenciómetro | | | | | | | |

Observaciones: Por tiempo de funcionamiento se entiende el tiempo de desplazamiento del ángulo de rotacion de 0 a 90°

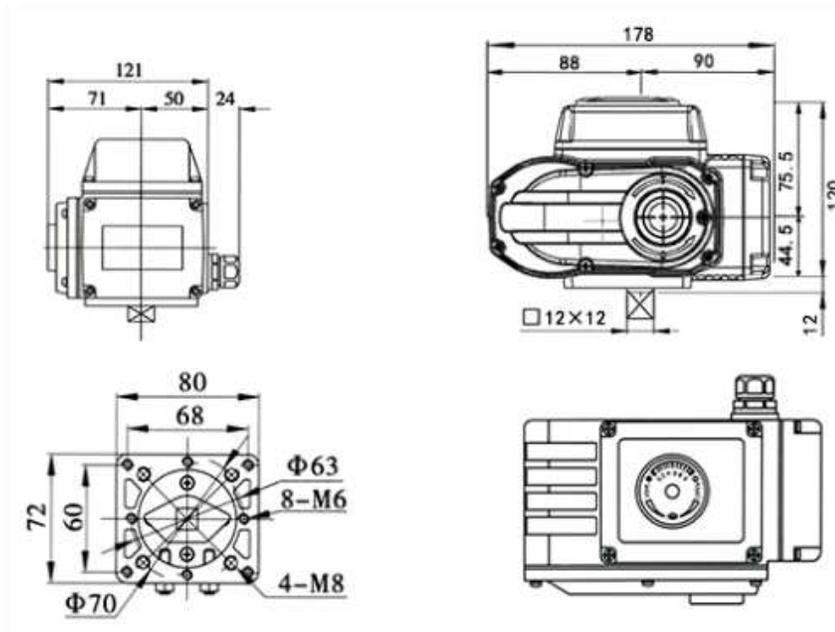
SINTEK

Flujo – Actuadores Electricos

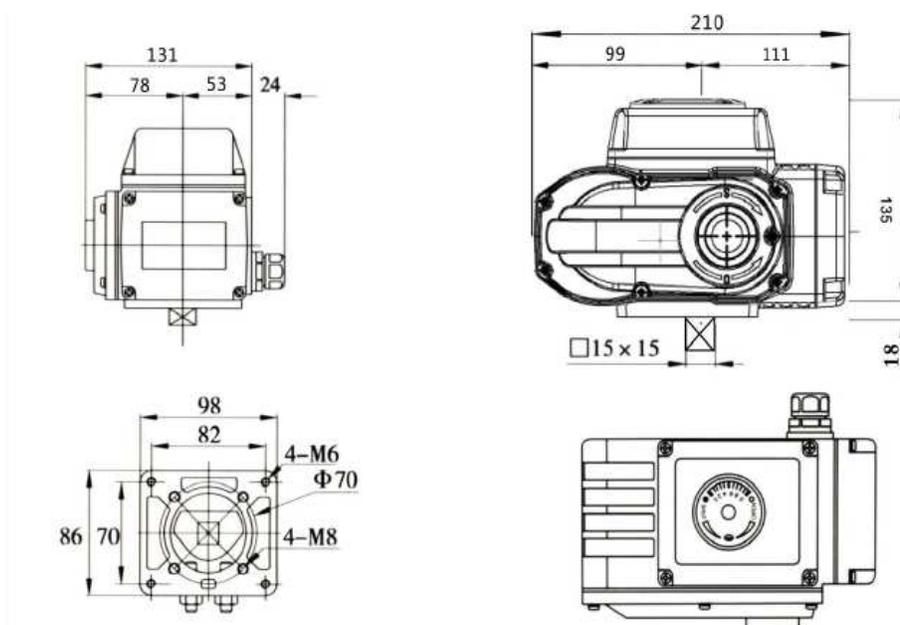
82

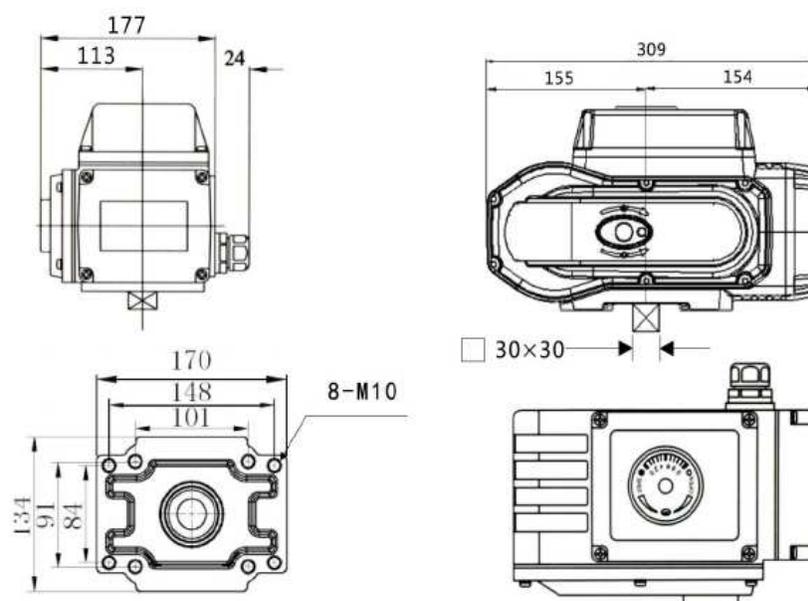
DIMENSIONES (mm)

SET 30 – 50



SET 100 - 160



SET 300 - 4000

Anexo C

Plano Tornillo Sin Fin

Este anexo contiene el plano técnico del tornillo sin fin propuesto por la compañía **Xinxiang Baisheng Machinery Co.** en la cual se ilustra el modelo del sistema de transporte que cuenta con 5 tanques de almacenamiento que corresponden al tamaño arrojado en el diseño haciendo uso del balance de masa, el conjunto de los 5 tornillos sin fin con las especificaciones técnicas requeridas para el proceso, además de la ilustración de los motores en la parte superior.

Anexo D

Especificaciones Técnicas Celda de Carga de un solo punto

Este anexo contiene las especificaciones técnicas dadas por el fabricante **Lexus** para las celdas de carga de un solo punto, en la tabla de especificaciones se pueden observar datos muy importantes que son usados para determinar la sensibilidad de la celda y la afectación en el proceso. Para el caso del presente proyecto se realiza el estudio con la celda de carga que tiene capacidad para 20 kg.

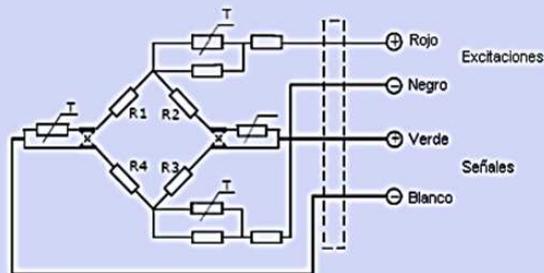
Celda de carga single point – monobloque plataformas 30 x 30 cm SP06-20 HBM Catalogo Ingles www.viaindustrial.com

LEXUS
ELECTRONIC WEIGHING

CARACTERISTICAS GENERALES

| Parametros | C3 | Unidades |
|--|-----------------------|----------------------------------|
| Capacidades (Emax) : | 3, 5, 15, 20, 30 y 40 | Kg |
| Intervalos Max. de verificacion (Nlc): | 3000 | d |
| Sensibilidad (Cn) : | 1.8 ± 0.002 | mV/V |
| Repetibilidad, No linealidad, Histerisis | 0.03 | \pm % de la señal de salida |
| Efecto de temperatura en la sensibilidad (Tkc) : | 0.02 / 10 | \pm % de la señal de salida/°C |
| Efecto de temperatura en el cero (tk0) : | 0.02 / 10 | \pm % de la señal de salida/°C |
| Cero : | 1.0 | \pm % de la señal de salida |
| Resistencia de entrada (Ric) : | 400 ± 10 | Ohms |
| Resistencia de salida (Ro) : | 352 ± 2 | Ohms |
| Resistencia de aislamiento : | ≥ 5000 | Mega-Ohms |
| Límite de sobrecarga : | 150 | % de la capacidad |
| Ruptura de celda : | 200 | % de la capacidad |
| Rango de temperatura en operación : | -30 a +70 | °C |
| Excitación Recomendada : | 10 - 12 | VDC |
| Maxima excitación permitida : | 15 | VDC |
| Peso aproximado: | 200 | g |
| Material : | Aluminio | |
| Clase de proteccion : | IP65 | |
| Cable | Ø5mm x 1m | |
| Tamaño maximo de plataforma | 30 x 30cm | |

CONEXION



DIMENSIONES Y ESPECIFICACIONES SUJETAS A CAMBIO SIN PREVIO AVISO

Anexo E

Especificaciones Técnicas Celda de Carga Tipo S

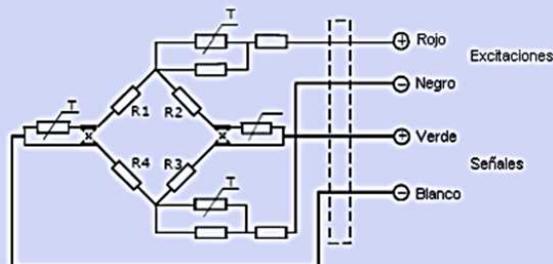
Este anexo contiene las especificaciones técnicas dadas por el fabricante **Lexus** para las celdas de carga tipo s, en la tabla de especificaciones se pueden observar datos muy importantes que son usados para determinar la sensibilidad de la celda y la afectación en el proceso. Para el caso del presente proyecto se realiza el estudio con las celdas de carga que tienen capacidad para 100 y 200 kg.

LEXUS
ELECTRONIC WEIGHING

CARACTERISTICAS GENERALES

| Parametros | C2 | C3 | Unidades |
|---|------------------------|--------|------------------------------|
| Capacidades (E _{max}) : | 50, 100, 200, 500 | | Kg |
| Intervalos Max. de verificación (N _{ic}): | 2000 | 3000 | d |
| Intervalos Min. De verificación (V _{min}) : | 0,03 | | % de la Capacidad Max. |
| Sensibilidad (C _n) : | 2.0 ± 0.2% | | mV/V |
| Efecto de temperatura en la sensibilidad (T _{kc}) : | 0,0024 | 0,0012 | ± % de la señal de salida/°C |
| Efecto de temperatura en el cero (t _{k0}) : | 0,002 | 0,0008 | ± % de la señal de salida/°C |
| Cero : | 1.0 | | ± % de la señal de salida |
| Resistencia de entrada (R _{ic}) : | 385 ± 5 | | Ohms |
| Resistencia de salida (R _o) : | 350 ± 2 | | Ohms |
| Resistencia de aislamiento : | ≥ 5000 | | Mega-Ohms |
| Limite de sobrecarga : | 150 | | % de la capacidad |
| Ruptura de celda : | 300 | | % de la capacidad |
| Rango de temperatura en operación : | -30 a +70 / -20 a +160 | | °C / °F |
| Excitación Recomendada : | 5-12 | | V (AC o DC) |
| Maxima excitación permitida : | 15 | | V (AC o DC) |
| Peso aproximado : | 600 | | g |
| Material : | Aleacion de acero | | |
| Clase de proteccion : | IP65 | | |
| Cable | 3m | | Φ5mm |

CONEXION



DIMENSIONES Y ESPECIFICACIONES SUJETAS A CAMBIO SIN PREVIO AVISO

Anexo F

Comparativa Controladores

Este anexo contiene una tabla comparativa de las características técnicas de controladores lógicos programables, mediante la cual se estudia la capacidad de algunos equipos ofertados por la marca Siemens y Unitronics, se toma en cuenta estos dispositivos por el respaldo que tienen por la marca, así como por los precios competitivos que manejan con respecto a otros equipos disponibles en el mercado. Este anexo sirve para definir el equipo que mejor se adecúa al proyecto de dosificación de productos en polvo.

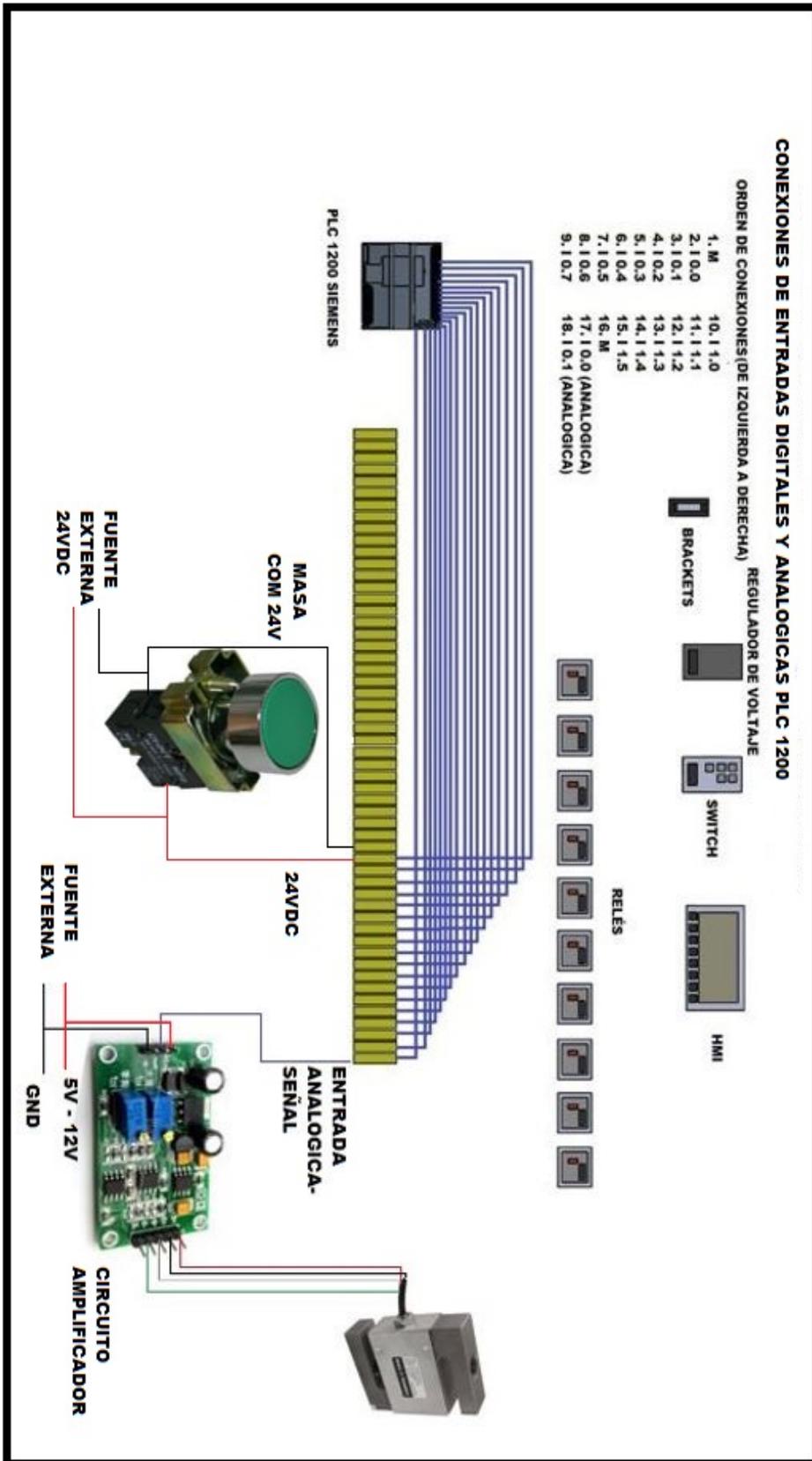
| Marca | Equipo | Referencia | Entradas | | Salidas | | Alimentación | Software | | | |
|--------------|---------------|------------|--------------|-----------|-------------|-----------|--------------|----------|----------------------|-------|-------|
| | | | Analogas | Digitales | Analogas | Digitales | | | | | |
| SIEMENS | PLC | LOGO | 230RCEo | | 8 | | 4 | 110v | LOGO SOFT COMFORT | | |
| | | | 230RCE | | 8 | | 4 | 110v | | | |
| | | | DM8 230R | | 4 | | 4 | 110v | | | |
| | | | DM16 230R | | 8 | | 8 | 110v | | | |
| | | | 24CE o 24CEo | 4 | 8 | | 4 | 24Vdc | | | |
| | | | DM8 24 | | 4 | | 4 | 24Vdc | | | |
| | | | DM8 16 | | 8 | | 8 | 24Vdc | | | |
| | | | 24RC | | 8 | | 4 | 24Vdc | | | |
| | | | DM8 24R | | 4 | | 4 | 24Vdc | | | |
| | | | DM16 24R | | 8 | | 8 | 24Vdc | | | |
| | | | 12/24RCE | 4 | 8 | | 4 | 24Vdc | | | |
| | | DM8 12/24R | | 4 | | 4 | 24Vdc | | | | |
| | | S71200 | 1211C | 2 | 6 | | 4 | 24Vdc | TIA PORTAL STEP 7 | | |
| | | | 1212C | 2 | 8 | | 6 | 24Vdc | | | |
| | | | 1214C | 2 | 14 | | 10 | 24Vdc | | | |
| | | | 1215C | 2 | 14 | 2 | 10 | 24Vdc | | | |
| | | | 1217C | 2 | 14 | 2 | 10 | 24Vdc | | | |
| | | UNITRONICS | PLC+HMI | V1040 | V200-18-E1B | 3 | 16 | | 10 | 24Vdc | LIBRE |
| | | | | | V200-18-E2B | 2 | 16 | 10 | 2 | 24Vdc | |
| V200-18-E3XB | 4 | | | | 18 | 4 | 15 | 24Vdc | | | |
| V200-18-E4XB | 4 | | | | 18 | 4 | | 24Vdc | | | |
| V200-18-E5B | 3 | | | | 18 | | | 24Vdc | | | |
| V200-18-E6B | 2 | | | | 18 | 2 | 15 | 24Vdc | | | |
| V200-18-E46B | 6 | | | | 18 | 2 | 15 | 24Vdc | | | |
| V200-18-E62B | 2 | | | | 30 | | | 24Vdc | | | |
| V1030 | V130-TR20 | | | 2 | 12 | | 6 | 24Vdc | | | |
| | V130J-TR20 | | | 2 | 12 | 10 | 6 | 24Vdc | | | |
| | V350-TR20 | | | 2 | 12 | 4 | 6 | 24Vdc | | | |
| | V350J-TR20 | | | 2 | 12 | 4 | 6 | 24Vdc | | | |
| | V430J-RH2 | | | 2 | 12 | | 6 | 24Vdc | | | |
| V350 | V350-35-TRA22 | | | 2 | 12 | 2 | 4 | 24Vdc | | | |
| | V350-J-TRA22 | | | 2 | 12 | 2 | 4 | 24Vdc | | | |

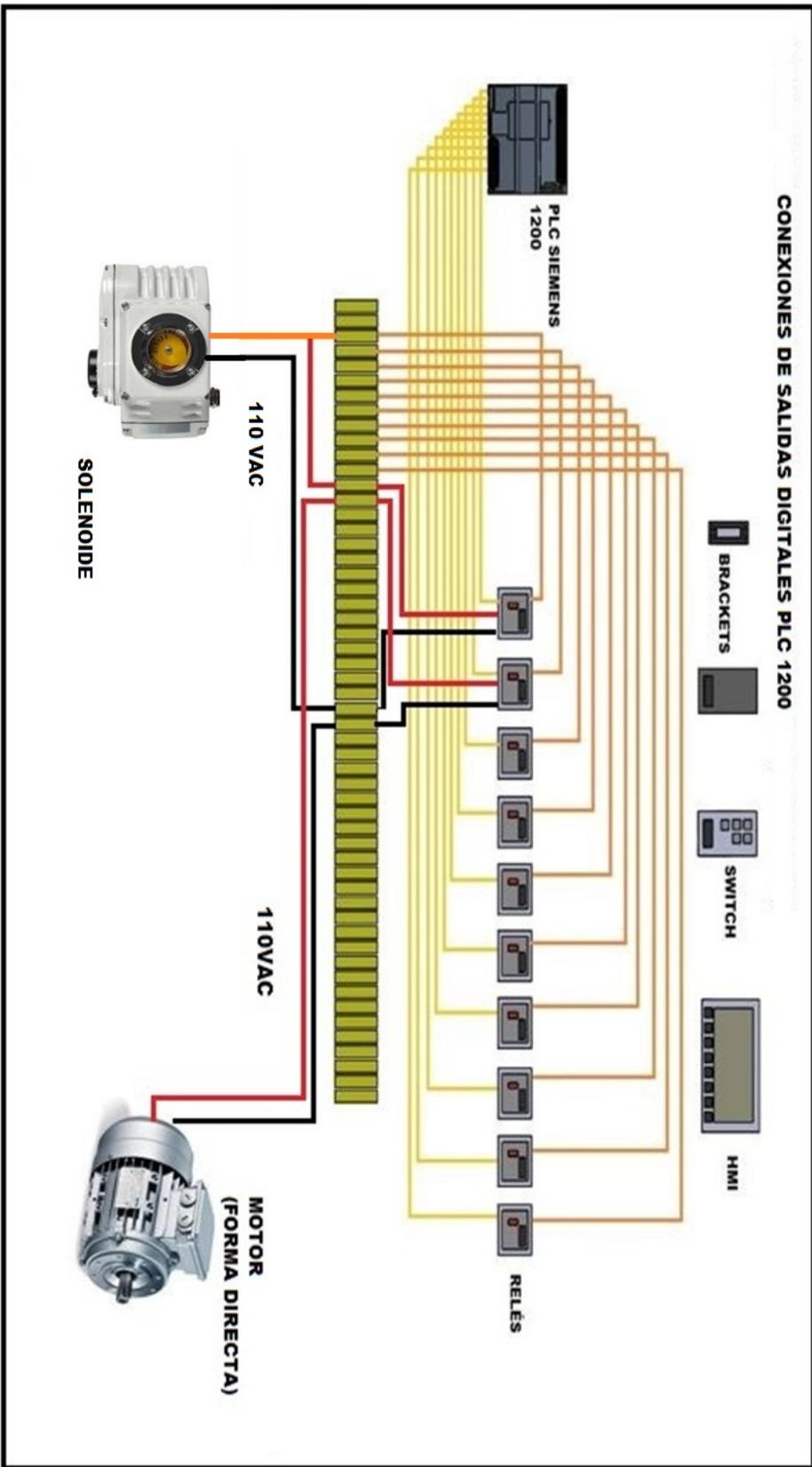
Tabla F.1: Comparativa PLC
Fuente: Propia.

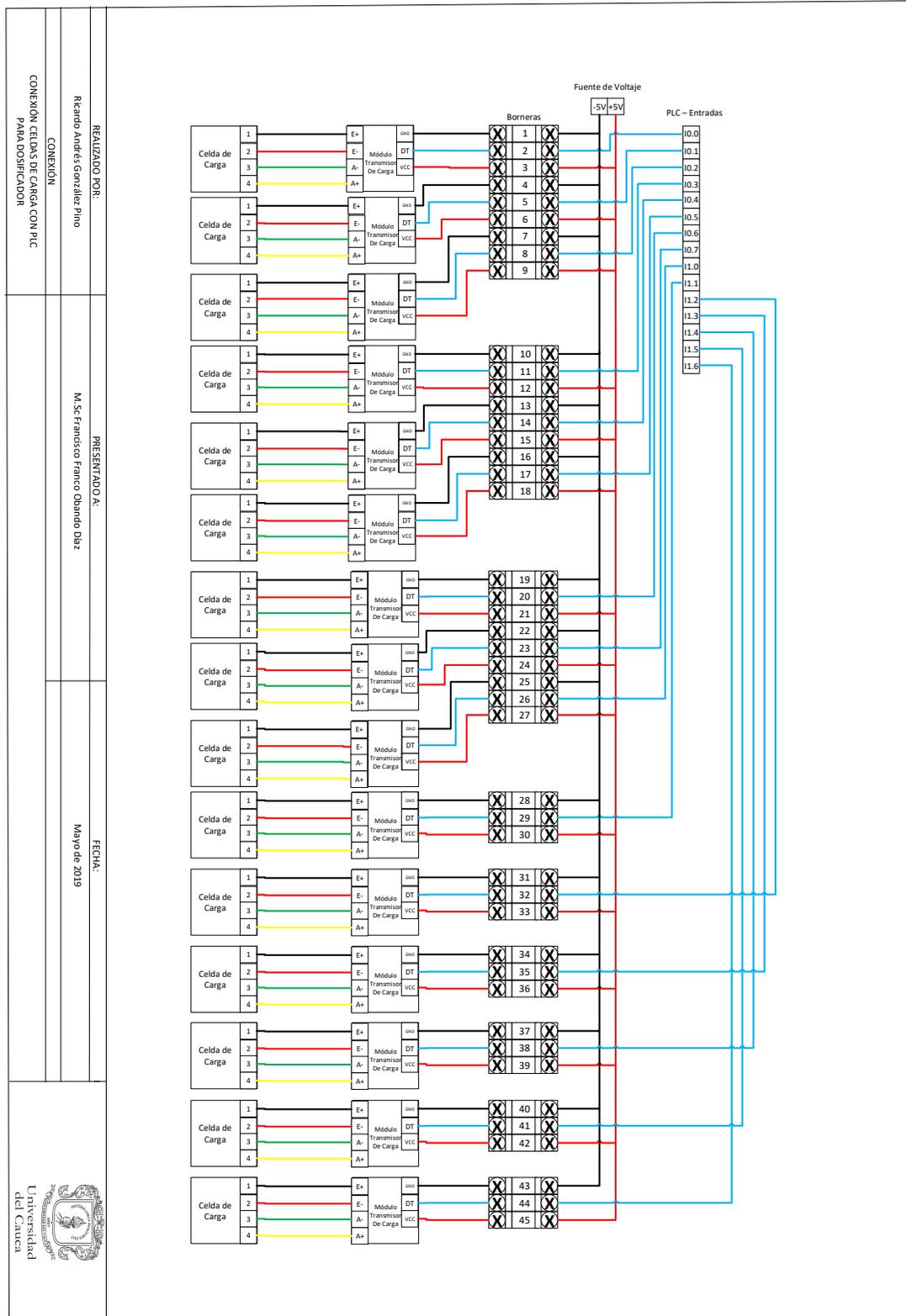
Anexo G

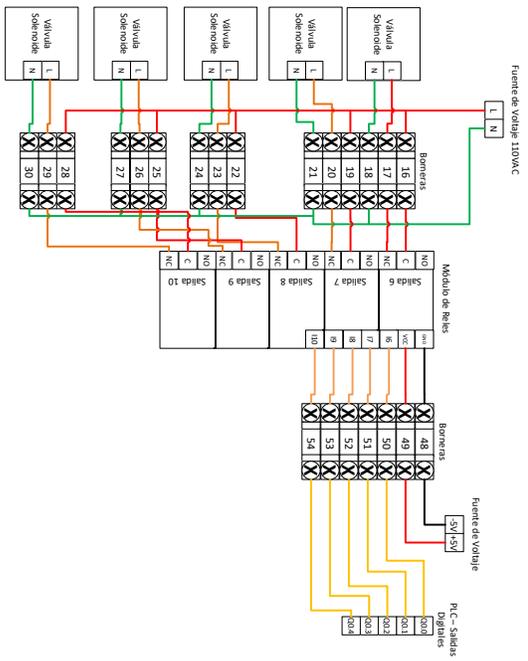
Conexionado Entradas y Salidas PLC

Este anexo contiene las conexiones requeridas para el sistema de dosificación teniendo en cuenta el PLC. El primer plano representa las entradas del PLC con el pulsador y la celda de carga con el acondicionador de señal, el segundo plano representa las salidas del PLC con la válvula y el motor; estos dos planos hacen únicamente una representación gráfica de los dispositivos participantes del sistema dosificador. Los siguientes planos representan las conexiones de cada uno de los dispositivos con respecto a las borneras, teniendo en cuenta el número de cables de cada dispositivo.



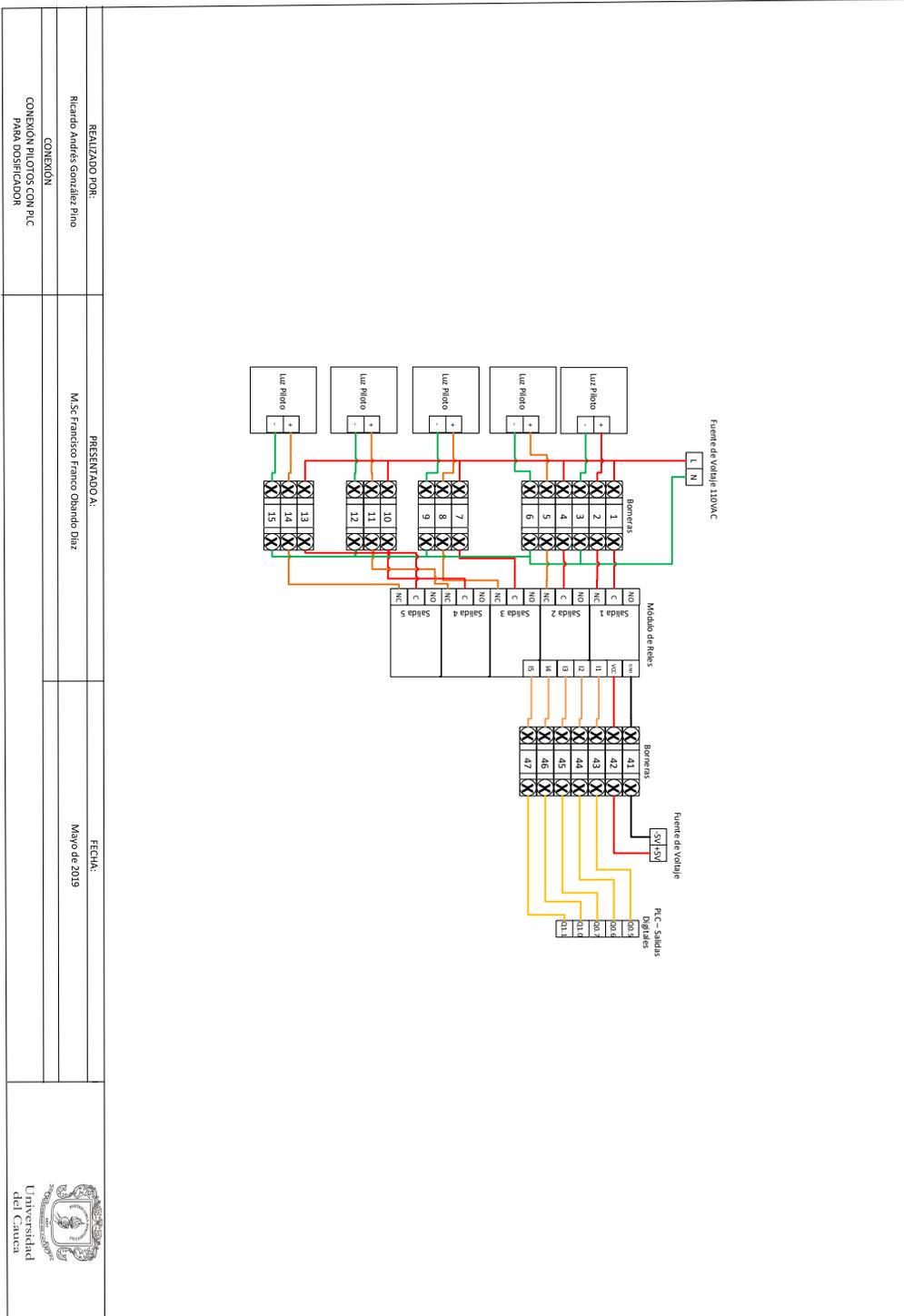






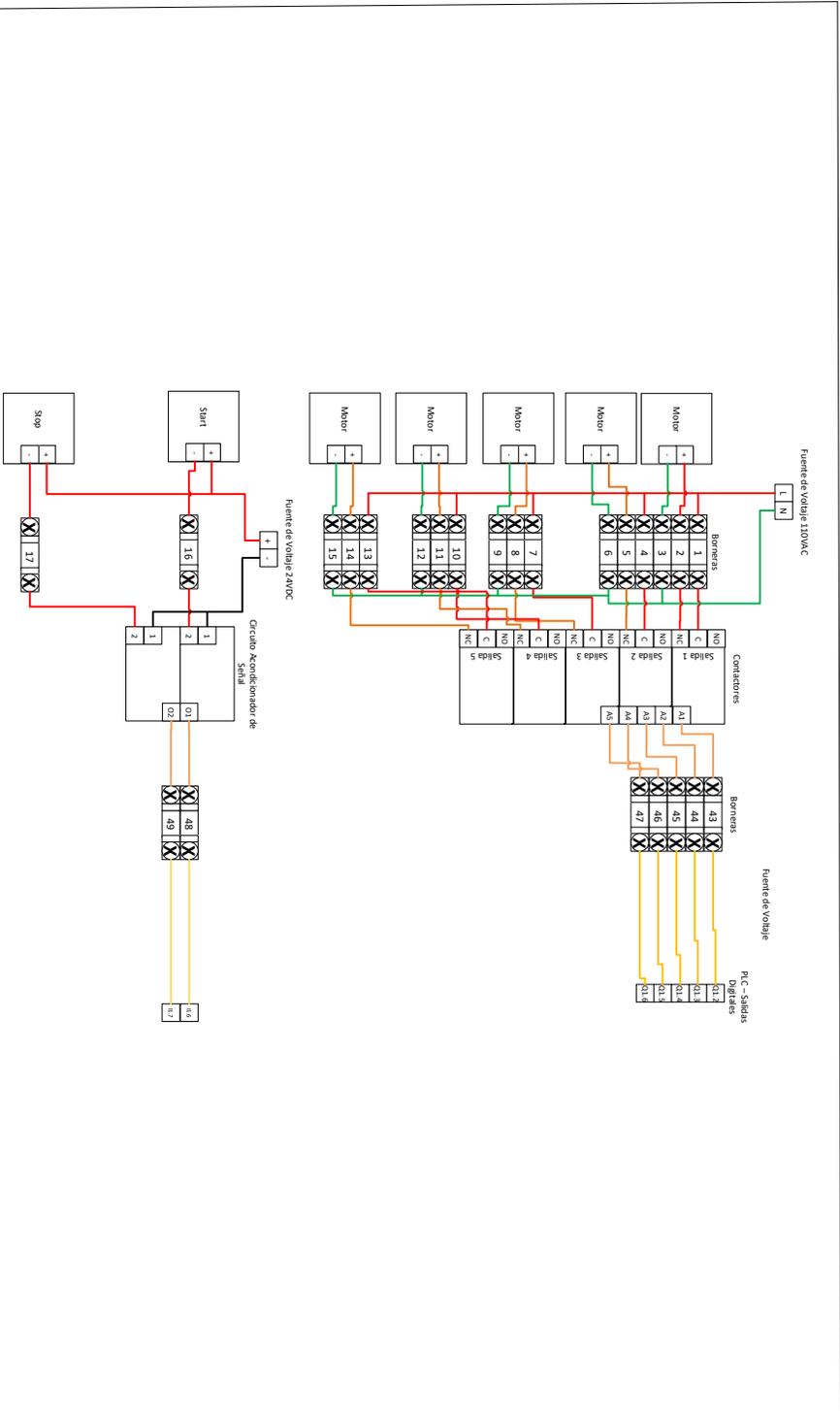
| | | |
|--|---|------------------------|
| REALIZADO POR: Ricardo Andrés González Pino | PRESENTADO A: M.Sc. Francisco Franco Obando Díaz | FECHA: Mayo de 2019 |
| CONEXIÓN | | |
| CONEXIÓN VALVULAS CON PLC PARA DISTRIBUIDOR | | |





| | | |
|---|------------------------------------|--------------|
| REALIZADO POR: | PRESENTADO A: | FECHA: |
| Ricardo Andrés González Pino | M.Sc. Francisco Franco Obando Díaz | Mayo de 2019 |
| CONEXION | | |
| CONEXION PILOTOS CON PLC PARA DOSIFICADOR | | |





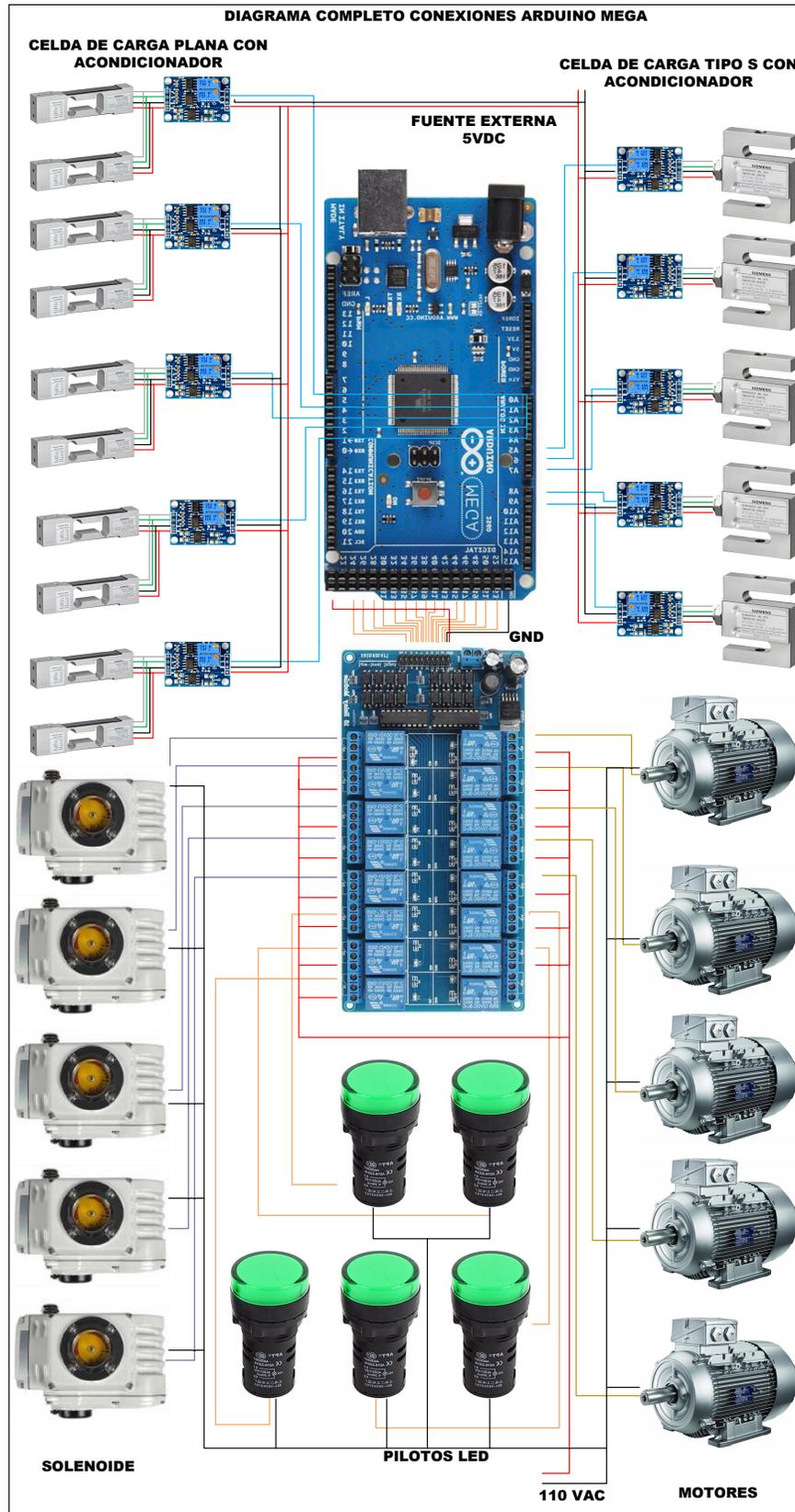
| | | |
|--|--|------------------------|
| REALIZADO POR: Ricardo Andrés González Pino | PRESENTADO A: M.Sc Francisco Franco Osando Diaz | FECHA: Mayo de 2019 |
| CONEXIÓN | | |
| CONEXIÓN MOTOR Y PULSADORES CON P.L.C PARA DOSIFICADOR | | |

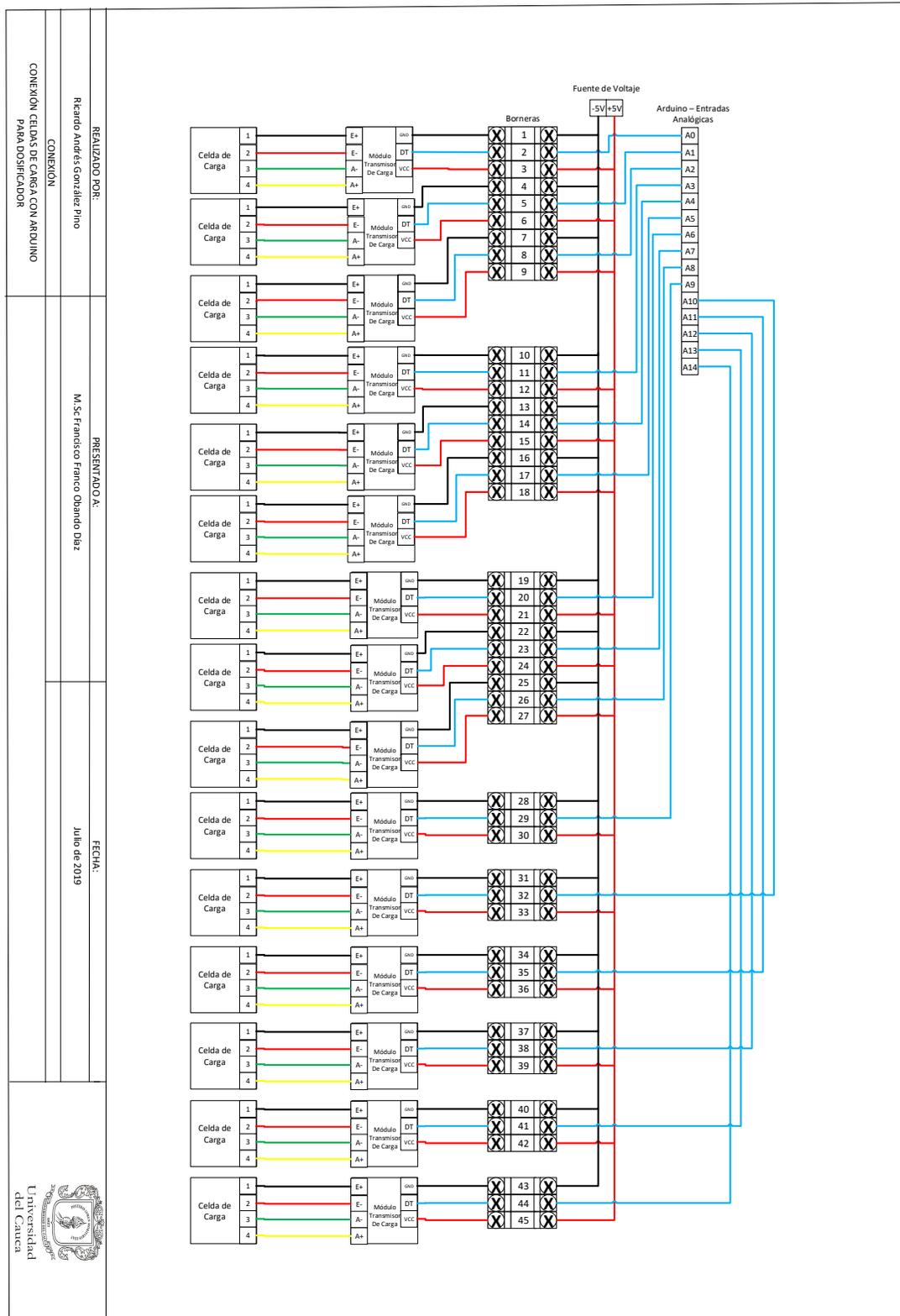


Anexo H

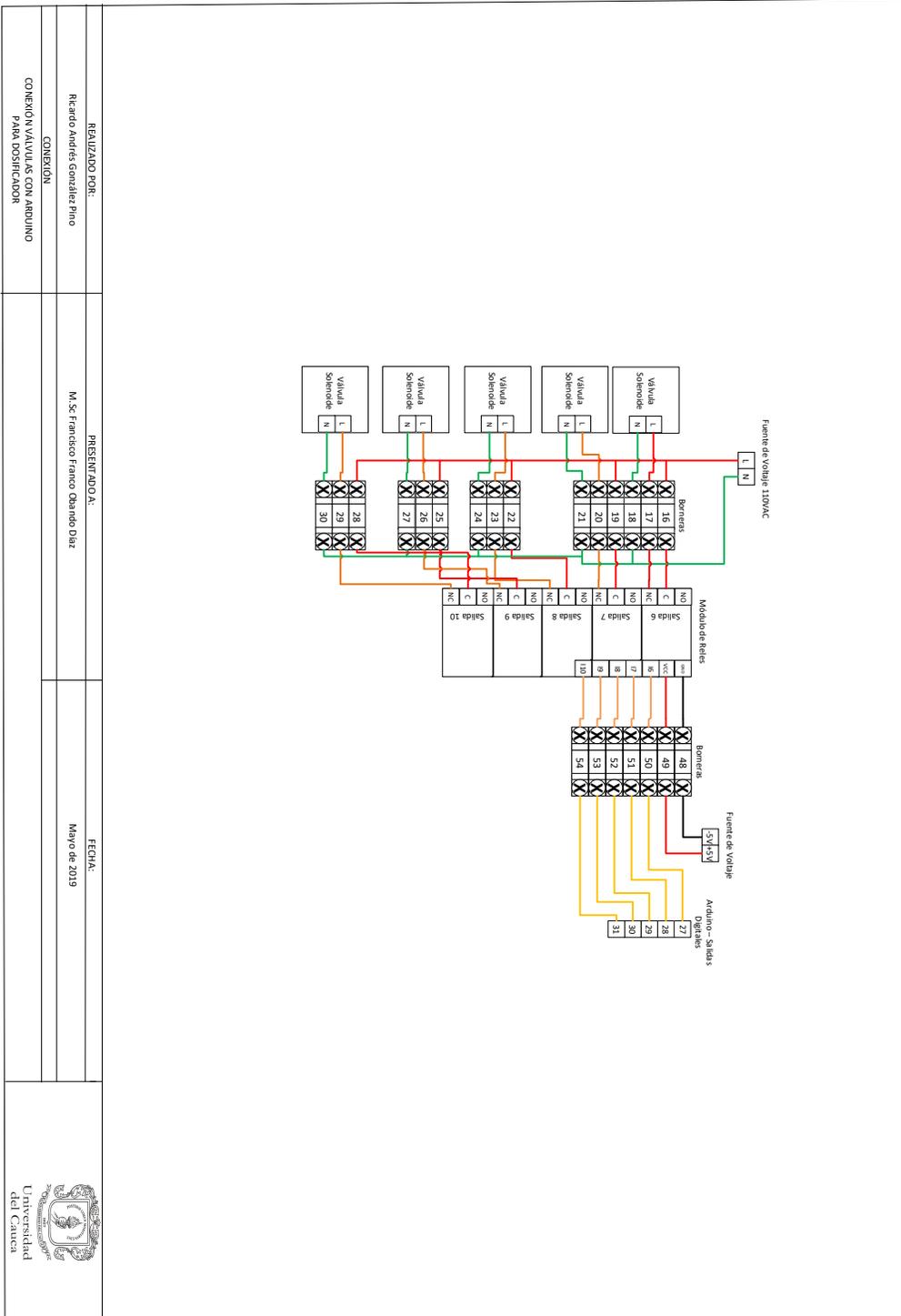
Conexionado Entradas y Salidas Arduino

Este anexo contiene las conexiones requeridas para el sistema de dosificación teniendo en cuenta la tarjeta Arduino. El primer plano representa las entradas y salidas del Arduino con los pilotos, las celdas de carga con los acondicionadores de señal, las válvulas y los motores, la conexión de estos es mediante relevos, contactores y relé térmico lo cual no se ilustra en el plano; este plano hace referencia únicamente a la representación gráfica de los dispositivos participes del sistema dosificador. Los siguientes planos representan las conexiones de cada uno de los dispositivos con respecto a las borneras, teniendo en cuenta el número de cables de cada dispositivo.





ANEXO H. CONEXIONADO ENTRADAS Y SALIDAS ARDUINO



REALIZADO POR:

Ricardo Andrés González Pino

CONEXION

CONEXION VALVULAS CON ARDUINO PARA DOSIFICADOR

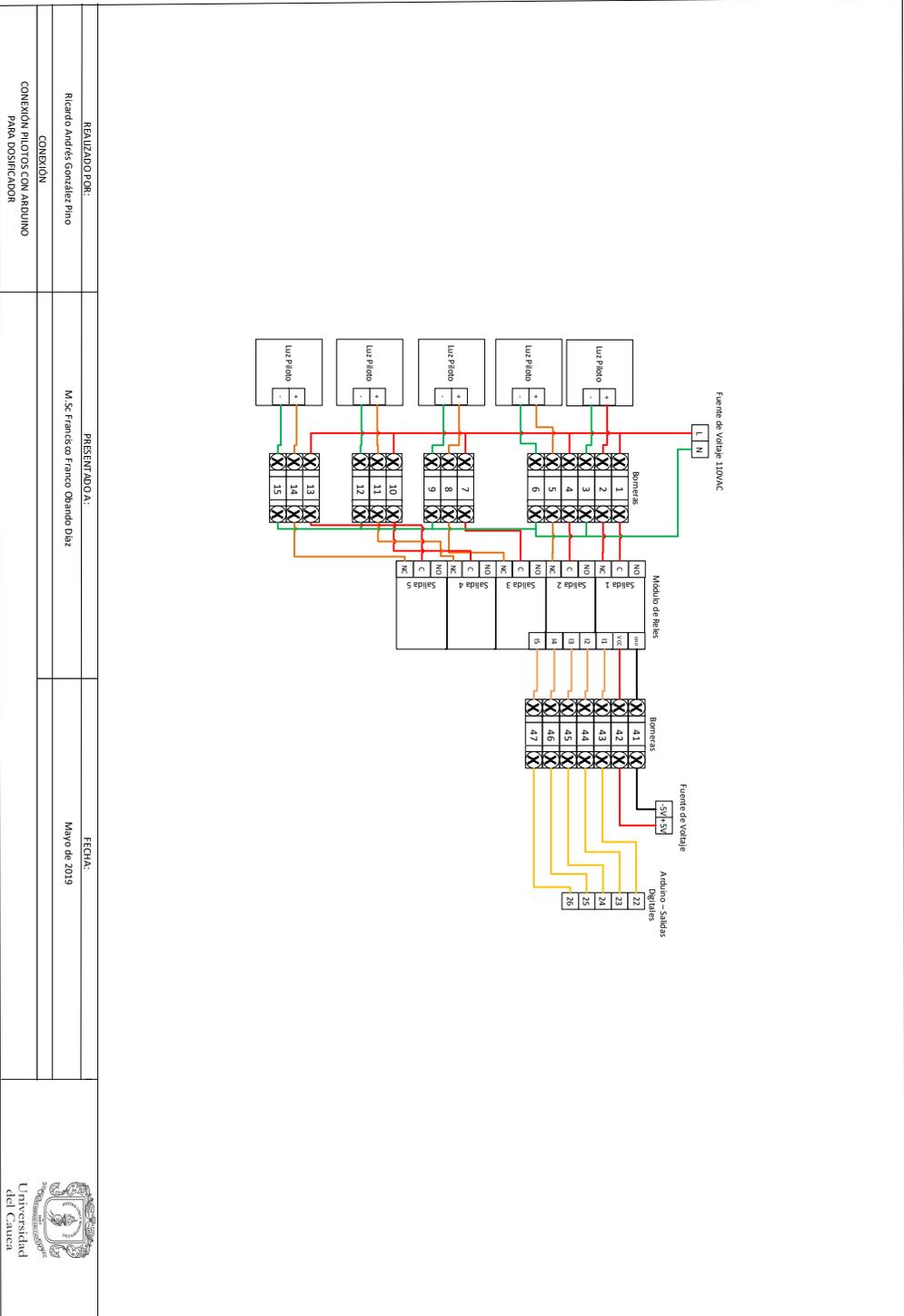
PRESENTADO POR:

M.Sc. Francisco Franco Osando Diaz

FECHA:

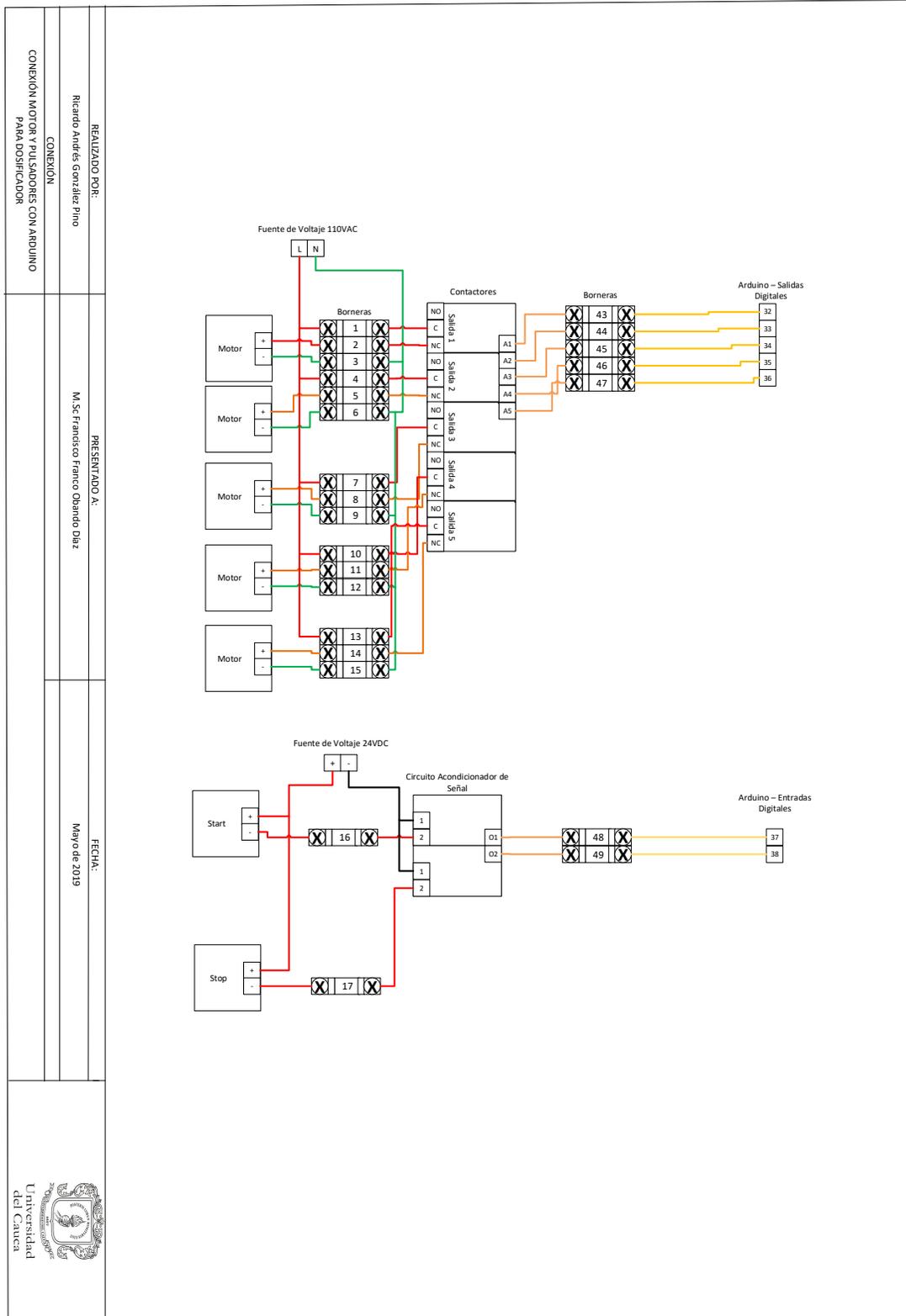
Mayo de 2019





| | | |
|--|------------------------------------|--------------|
| REALIZADO POR: | PRESENTEADO A: | FECHA: |
| Ricardo Andrés González Pino | M.Sc. Francisco Franco Osando Diaz | Mayo de 2019 |
| CONEXIÓN | | |
| CONEXIÓN PILOTOS CON ARBUJINO PARA DASHBOARD | | |

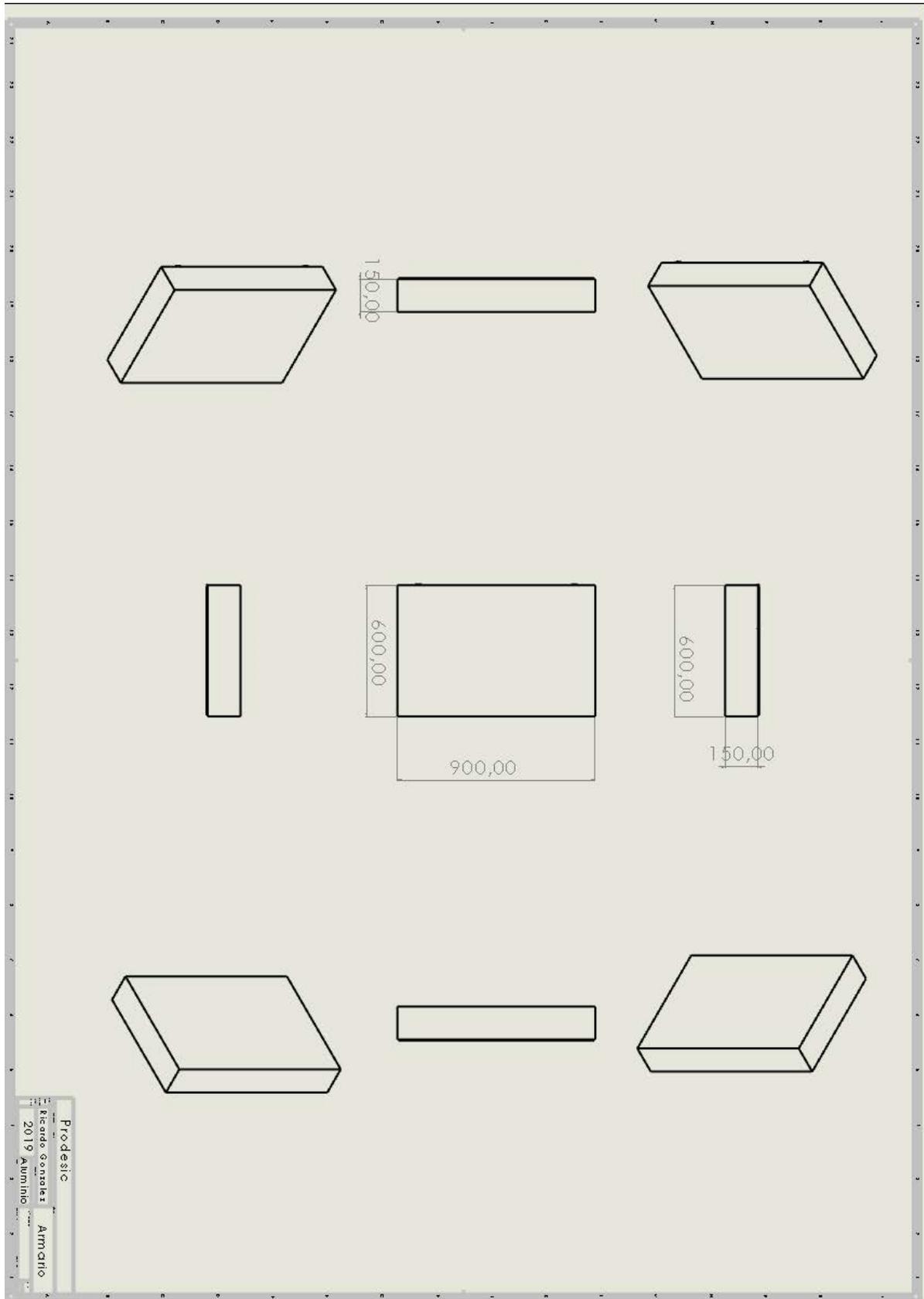


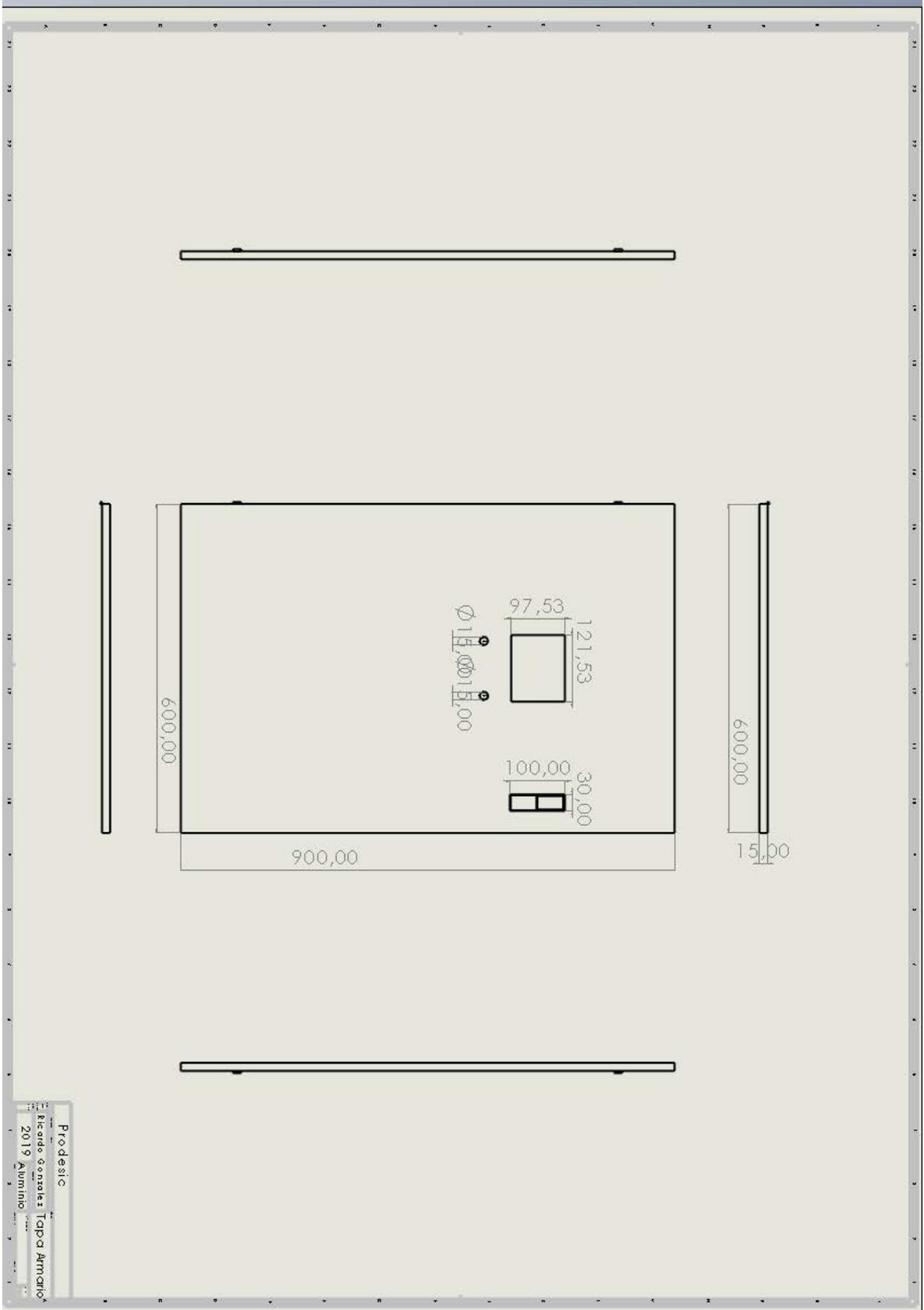


Anexo I

Plano Armario de Control

Este anexo contiene el plano técnico correspondiente al armario de control adecuado de tal manera que sea útil para cualquiera de los dos sistemas de control propuestos, estos planos se desarrollaron mediante la herramienta CAD Solidworks y cuentan con cotas en milímetros.





Prodesic
Escuela Superior Técnica Agrícola
2019 Alumino

Anexo J

Presupuesto

Este anexo contiene la información detallada de los elementos partícipes del sistema de dosificación, en la parte inicial constan de una lista de equipos generales independiente del sistema de control, en esta lista se incluye un rubro para imprevistos que corresponde al 2% del valor total de los equipos generales; dependiendo del sistema de control se plantean los dispositivos necesarios dando como resultado el valor total del sistema de control y para finalizar se tiene el costo de diseño e ingeniería del proyecto el cual tiene variaciones en los costos dependiendo del sistema de control que se escoja.

PRESUPUESTO SISTEMA DOSIFICADOR

Presupuesto para la realización del sistema dosificador para la empresa Prodesic, teniendo en cuenta el escenario de control con PLC, en este presupuesto se tienen en cuenta los equipos necesarios para llevar a cabo el proyecto, los costos de transporte, mano de obra y un adicional del 2% para imprevistos.

| | |
|------------------------|----|
| Adquisición de equipos | 60 |
| Instalación de equipos | 20 |
| Configuración equipos | 10 |
| Tiempo total (Días) | 90 |

Nombre o título del proyecto: Dosificador automático para productos en polvo.

Descripción del proyecto:

Sistema de dosificación de ingredientes en polvo automático para la preparación de productos a base de quinua, el sistema de dosificación es capaz de suministrar 5 insumos al mezclador en cantidades establecidas por la empresa, teniendo la capacidad de efectuar 2 lotes de producción; el sistema cuenta con una pantalla táctil que permite monitorear el proceso, así como modificar las recetas dependiendo del producto que se requiera con PLC.

| | |
|------------------------------------|----------------------|
| 1 EQUIPOS GENERALES | \$ 46.980.588 |
| 2 SISTEMA DE CONTROL | \$ 11.323.680 |
| 3 DISEÑO E INGENIERÍA DEL PROYECTO | \$ 12.400.000 |
| Valor total del proyecto | \$ 70.704.268 |

1. EQUIPOS GENERALES:

| Concepto del Gasto | Valor Unitario | Cantidad | Valor Total |
|--|----------------|----------|---------------|
| 1 Tolva Dosificación | \$ 880.000 | 5 | \$ 4.400.000 |
| 2 Base metálica para tolva | \$ 130.000 | 1 | \$ 130.000 |
| 3 Válvula mariposa con actuador eléctrico + IVA | \$ 1.400.000 | 5 | \$ 7.000.000 |
| 4 Set tanque almacenamiento con tornillo sin fin y motor | \$ 6.020.554 | 5 | \$ 30.102.770 |
| 5 Transporte: Buenaventura - Popayán | \$ 1.000.000 | 1 | \$ 1.000.000 |
| 6 Caja armario | \$ 407.850 | 1 | \$ 407.850 |
| 7 Pulsador 110v | \$ 6.300 | 2 | \$ 12.600 |
| 8 Piloto 110v | \$ 3.665 | 1 | \$ 3.665 |
| 9 Celda de carga 20 kg | \$ 74.025 | 10 | \$ 740.250 |
| 10 Celda de carga 100 kg | \$ 277.326 | 5 | \$ 831.978 |

| | | | | | | |
|---|------------|----|---------|-----|----|------------|
| 2 | Técnicos | \$ | 60.000 | 120 | \$ | 7.200.000 |
| 3 | Soldadores | \$ | 30.000 | 40 | \$ | 1.200.000 |
| | | \$ | 190.000 | | \$ | 12.400.000 |

Tabla J.1: Presupuesto con PLC

PRESUPUESTO SISTEMA DOSIFICADOR

Presupuesto para la realización del sistema dosificador para la empresa Prodesic, teniendo en cuenta el escenario de control con Arduino Mega 2560, en este presupuesto se tienen en cuenta los equipos necesarios para llevar a cabo el proyecto, los costos de transporte, mano de obra y un adicional del 2 % para imprevistos.

| | |
|------------------------|----|
| Adquisición de equipos | 60 |
| Instalación de equipos | 20 |
| Configuración equipos | 5 |
| Tiempo total (Días) | 85 |

Nombre o título del proyecto: Dosificador automático para productos en polvo.

Descripción del proyecto:

Sistema de dosificación de ingredientes en polvo automático para la preparación de productos a base de quinua, el sistema de dosificación es capaz de suministrar 5 insumos al mezclador en cantidades establecidas por la empresa, teniendo la capacidad de efectuar 2 lotes de producción; el sistema cuenta con una pantalla táctil que permite monitorear el proceso, así como modificar las recetas dependiendo del producto que se requiera con Microcontrolador.

| | |
|------------------------------------|----------------------|
| 1 EQUIPOS GENERALES | \$ 46.980.588 |
| 2 SISTEMA DE CONTROL | \$ 288.695 |
| 3 DISEÑO E INGENIERÍA DEL PROYECTO | \$ 10.100.000 |
| Valor total del proyecto | \$ 57.541.543 |

1. EQUIPOS GENERALES:

| Concepto del Gasto | Valor Unitario | Cantidad | Valor Total |
|--|----------------|----------|---------------|
| 1 Tolva Dosificación | \$ 880.000 | 5 | \$ 4.400.000 |
| 2 Base metálica para tolva | \$ 130.000 | 1 | \$ 130.000 |
| 3 Válvula mariposa con actuador eléctrico + IVA | \$ 1.400.000 | 5 | \$ 7.000.000 |
| 4 Set tanque almacenamiento con tornillo sin fin y motor | \$ 6.020.554 | 5 | \$ 30.102.770 |
| 5 Transporte: Buenaventura - Popayán | \$ 1.000.000 | 1 | \$ 1.000.000 |
| 6 Caja armario | \$ 407.850 | 1 | \$ 407.850 |
| 7 Pulsador 110v | \$ 6.300 | 2 | \$ 12.600 |
| 8 Piloto 110v | \$ 3.665 | 1 | \$ 3.665 |
| 9 Celda de carga 20 kg | \$ 74.025 | 10 | \$ 740.250 |
| 10 Celda de carga 100 kg | \$ 277.326 | 3 | \$ 831.978 |

| | | | | | | |
|----|---------------------------|----|---------|----|----|---------|
| 11 | Celda de carga 200 kg | \$ | 312.438 | 2 | \$ | 624.876 |
| 12 | Fuente para riel 10vdc 1A | \$ | 66.700 | 1 | \$ | 66.700 |
| 13 | Fusible 10A | \$ | 18.580 | 4 | \$ | 74.320 |
| 14 | Rejilla metálica | \$ | 100.000 | 1 | \$ | 100.000 |
| 15 | Relé térmico 10A | \$ | 28.350 | 5 | \$ | 141.750 |
| 16 | Relé electromecánico 10A | \$ | 14.000 | 10 | \$ | 140.000 |
| 17 | Bornera 1A | \$ | 1.400 | 20 | \$ | 28.000 |
| 18 | Bornera 10A | \$ | 1.800 | 10 | \$ | 18.000 |

| | | Valor/metro | Cantidad | Valor Total | | |
|----|-------------------------|-------------|----------|-------------|----|---------|
| 19 | Canaleta Ranurada 25*25 | \$ | 16.700 | 6 | \$ | 100.200 |
| 20 | Riel Omega | \$ | 5.600 | 4 | \$ | 22.400 |
| 21 | Termoencogible 3mm | \$ | 696 | 5 | \$ | 3.480 |
| 22 | Tubo Teflón 6mm | \$ | 6.400 | 6 | \$ | 38.400 |
| 23 | Cable 14awg | \$ | 1.019 | 60 | \$ | 61.140 |
| 24 | Cable 24awg | \$ | 1.200 | 60 | \$ | 72.000 |

| | | | | | |
|----------------|----|------------|--|----|------------|
| Imprevistos 2% | \$ | 860.209 | | \$ | 860.209 |
| | \$ | 11.634.812 | | \$ | 46.980.588 |

2. SISTEMA DE CONTROL:

| | Concepto del Gasto | Valor Unitario | Cantidad | Valor Total | | |
|---|--------------------------------|----------------|----------|-------------|----|---------|
| 1 | Arduino Mega 2560 | \$ | 45.791 | 1 | \$ | 45.791 |
| 2 | Caja en acrílico para Arduino | \$ | 6.760 | 1 | \$ | 6.760 |
| 3 | Caja metálica de protección | \$ | 30.000 | 1 | \$ | 30.000 |
| 4 | Screw Shield | \$ | 21.039 | 2 | \$ | 42.078 |
| 5 | Pantalla 4,3 | \$ | 125.856 | 1 | \$ | 125.856 |
| 6 | Adaptador celda de carga AD620 | \$ | 3.848 | 10 | \$ | 38.480 |
| 7 | DPS tipo 2 | \$ | 171.990 | 1 | \$ | 171.990 |
| | | \$ | 405.284 | | \$ | 460.955 |

3. DISEÑO E INGENIERÍA DEL PROYECTO:

| | Concepto del Gasto | Valor Unitario | Horas | Valor Total | | |
|---|--------------------|----------------|---------|-------------|----|-----------|
| 1 | Ingenieros | \$ | 100.000 | 20 | \$ | 2.000.000 |
| 2 | Técnicos | \$ | 60.000 | 115 | \$ | 6.900.000 |

| | | | | | | |
|---|------------|----|---------|----|----|------------|
| 3 | Soldadores | \$ | 30.000 | 40 | \$ | 1.200.000 |
| | | \$ | 190.000 | | \$ | 10.100.000 |

Tabla J.2: Presupuesto con Arduino

Anexo K

Cotización Equipos

Este anexo contiene las cotizaciones formales correspondientes al set de tornillos sin fin incluyendo el transporte de China hasta el puerto de Buenaventura, el costo del transporte de dichos elementos, el costo de las tolvas de dosificación el acero inoxidable y las válvulas con actuador eléctrico. El costo del set de tornillos sin fin se encuentra en dólares y la cotización tiene una vigencia de 25 días.



Supplier For Sieving&Conveying System Solution
XinXiang BaiSheng Machinery Co.,Ltd

Cotización de la máquina de los transportadores de tornillo de la tolva SUS304

Fecha de oferta: 2019/04/25

Cita No.:BSL20190424



| Supplier Information | Customer Information |
|--|----------------------------------|
| Xinxiang Baisheng Machinery Co.,Ltd | Contact Person: Ricardo |
| Adress:Xinxiang No.309 the Yellow River Road, Xinxiang City,Henan province,China | |
| Tel:86-373-2878377 | |
| Whatsapp:+86 18625912284 | Tel: |
| Email:baishengmachinery_linda@outlook.com | Country: Colombia |
| Skype :baishengmachinery_linda@outlook.com | Email: ricardo98@unicauca.edu.co |

1: TÉRMINOS Y PARÁMETROS COMERCIALES

| 1:Resumen de precio | | | | |
|---------------------|--|----------|------------------------|---------------|
| No. | Artículos | Cantidad | Precio unitario (USD) | Cantidad(USD) |
| 1 | <p>Sistema de la máquina transportadora de tornillo de la tolva.</p> <p>Material: Todo acero inoxidable 304.</p> <p>Diámetro del tornillo: 133mm</p> <p>Longitud: 3.2M,</p> <p>5 sets Motor: 2.2KW / set</p> <p>Paso de tornillo: 120 mm</p> <p>El grosor de la cuchilla: 5mm.</p> <p>El grosor del tubo: 4 mm.</p> <p>Capacidad de la máquina: 0.004m³ / min.</p> <p>Ángulo inclinado: 50 grados</p> <p>Volumen de la tolva: 100kg</p> | 1 set | USD1,696.00 | USD1,696.00 |
| 2 | <p>Sistema de la máquina transportadora de tornillo de la tolva.</p> <p>Volumen de la tolva: 80kg</p> | 1 Set | USD1,667.00 | USD1,667.00 |
| 3 | <p>Sistema de la máquina transportadora de tornillo de la tolva.</p> <p>Volumen de la tolva: 40kg</p> | 3 SetS | USD1,620.00 | USD4,860.00 |

| | | | | |
|-------|---|------|-----------|-------------|
| 4 | Paquete de caja de madera contrachapada estándar de exportación (4mx1mx1m) (1.5mx1.2mx1.2m) | 2pcs | USD135.00 | USD270.00 |
| 5 | Transporte terrestre al puerto de Shanghai, China | 1 | USD373.00 | USD373.00 |
| 6 | Carga del puerto de shanghai | 1 | USD223.00 | USD223.00 |
| 7 | Transporte marítimo al puerto de Buenaventura, Colombia | 1 | FREE | FREE |
| Total | Sobre el precio está la cotización de CNF al puerto de Buenaventura, Colombia | | | USD9,089.00 |

1: País de origen: China

2: Tiempo de entrega: 10 días hábiles después de recibir su pago por adelantado.

3: Término de precio: Sobre el precio está la cotización de CNF al puerto de Buenaventura, Colombia

4: garantía: 12 meses

5: Plazo de pago: 50% T / T por adelantado, 50% T / T antes del envío.

6: Validez del precio: 25 días



TRAMICON
LOGISTICA S.A.
NIT 830 071 467-0

Santiago de Cali, Mayo 10 de 2019

Señores
PRODECIC
Nit 900.285.180-5
Ciudad

Por medio de la presente me permito cotizarle el servicio de transporte de una maquina Tornillos y Tolva -sus-304, peso 1.800 kilos, cargando en la ciudad de Buenaventura con destino para Popayán, valor flete \$ 1.000.000

Atentamente

TRAMICON
LOGISTICA S.A.
NIT 830 071 467-0
XIMENA RICO RENGIFO

c.c # 66.760548 de Palmira

Cel 317-3676542

Teléfono 4394114

• **Cundinamarca**
68 75 Crump Diesel
Tel.: 260 99 23
9. 21A-18 Of. 303
637 16 91/17 03
ramicon.com.co



Cartagena - Bolivar: Transv. 51 No. 20 - 38 Calle las Acacias
Tel.: 669 44 69
Buenaventura - Valle: Calle 7A No. 4-72 Barro Obrero
Tels.: (072) 240 00 98 - 240 10 32
Cali - Valle: Cra. 1 Cll. 62 Centro Comercial Colon Plaza Of. 01-7
Tel.: (072) 439 41 71

| | | |
|---|--|----------------|
|  | Cotización elementos en acero inoxidable | 8 mayo de 2019 |
| | | Versión: 01 |

Señores.
PRODESIC

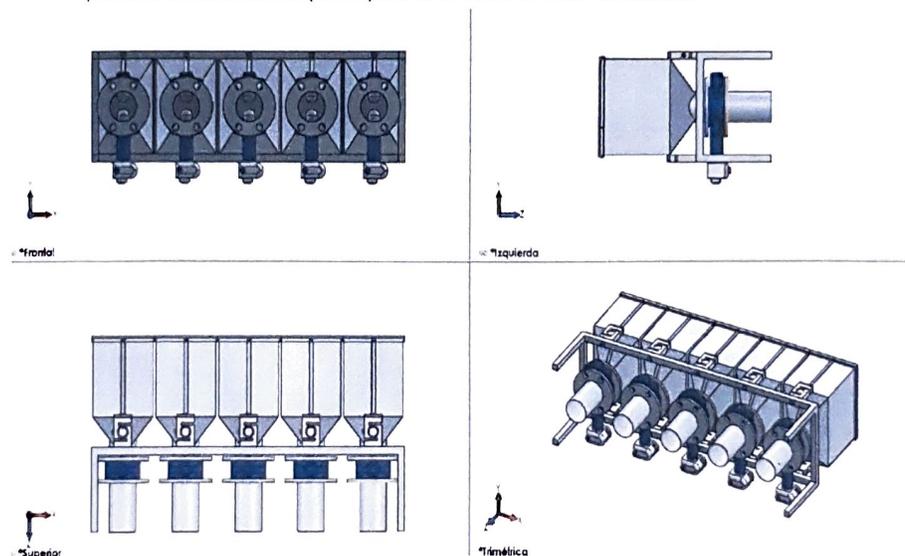
Asunto: Cotización tolvas y soportes en acero inoxidable.

Cordial saludo

Me dirijo a usted con el fin de presentar la cotización para la elaboración de tolvas de almacenamiento y dosificación para alimento en estado sólido tipo polvo, todo en acero inoxidable 18-304.

1. Tolva y Sistema de dosificación.

Para la fabricación se utilizará lamina de acero inoxidable calibre 16 (1.5mm) satinada calidad 304 austenitico, corte perforaciones en corte láser y juntas mediante soldadura TIG, proceso de soldadura especial para el material de acero inoxidable.



| ARTICULO | DESCRIPCION | CANTIDAD | VALOR TOTAL |
|----------|--|----------|-------------|
| 1 | Tolva de dosificación y almacenamiento <ul style="list-style-type: none"> • Brida de soporte de 3/8 de espesor. • Lamina de acero inoxidable calidad 304 calibre 16. • Chapa en corte laser. • Tubería redonda de 3" de diámetro calibre 14 (2 mm). • Tapa superior en Lamina de acero inoxidable calidad 304 calibre 16. | 1 | \$ 880.000 |



Ing. Fernando Betancourt
Nit: 10302271-2
Calle 5 # 27 A 81 Popayán
Tel 092- 8380874- Celular: 3147254657
Email: ingeeinoxidables@gmail.com

| | | |
|---|---|----------------|
|  | Cotización elementos en acero inoxidable | 8 mayo de 2019 |
| | | Versión: 01 |

- El precio incluye diseño, fabricación e instalación garantizando un excelente acabado y presentación.
 - Todos los valores incluyen IVA del 19%.
 - Los cambios en el diseño se deben notificar con suficiente tiempo de anticipación, *mínimo 2 días hábiles*.
 - Tiempo de entrega 5 días hábiles.
 - Validez de la oferta 15 días calendario.
 - El proyecto se inicia con el anticipo del 50% del valor acordado.
 - Para transferencia a nivel nacional: cuenta de ahorros Bancolombia, a nombre de: Oscar Fernando Betancourt No: 26185257745.
- Quedo presto para cualquier duda o comentario

Cordialmente.

INGENIERIA E INOXIDABLES

Ing. Fernando Betancourt

Nit: 10302271-2

Calle 5 # 27 A 81 Popayán

Tel 092- 8380874

Celular: 3147254657

Email: ingecoinoxidables@gmail.com

www.ingenieriaeinoxidables.com



Ing. Fernando Betancourt

Nit: 10302271-2

Calle 5 # 27 A 81 Popayán

Tel 092- 8380874- Celular: 3147254657

Email: ingecoinoxidables@gmail.com

| | | | |
|---|-------------------|---------|------------|
|  SETEFER NIT: 830.057.749-4 | COTIZACION | CODIGO | CO-FT-01 |
| | | VERSION | 04 |
| | | FECHA | 27/12/2017 |

CONTROLES INDUSTRIALES - CALEFACCIÓN - VARIADORES DANFOSS - VÁLVULAS MOTORIZADAS ON OFF Y PROPORCIONALES FITTINGS INSTRUMENTACION - MEDIDORES DE FLUJO Y NIVEL - MANÓMETROS TERMÓMETROS -VÁLVULAS PARA AIRE, GAS, AGUA Y PETRÓLEO - LÍNEA NEUMÁTICA - LÍNEA SANITARIA - MANGUERA INDUSTRIAL - JUNTAS ROTATIVAS -TUBERÍA Y ACCESORIOS - MONTAJES INDUSTRIALES



Fecha: 03/05/2019 COTIZACION No. 33177
 Señores: PRODESIC
 Atn: Ing. Ricardo Andres Gonzalez Pino
 Dept:
 E-mail: ricardo98@unicauca.edu.co
 Tel: 3057504213
 Ciudad: Bogotá D.C.



| ITEM | CANT | REF | DESCRIPCION | V/R UNT | V/R TOTAL |
|------|------|-----|--|-----------------|---------------------|
| 1 | 5 | | Valvula Mariposa cuerpo hierro disco acero inoxidable de 3" con actuador electrico Sintek 110V SET 100 | \$ 1.176.471 | \$ 5.882.353 |
| | | | Entrega 3 dias habiles, fletes incluidos | SUBTOTAL | \$ 5.882.353 |
| | | | | IVA | \$ 1.117.647 |
| | | | | TOTAL | \$ 7.000.000 |

CONDICIONES COMERCIALES

Forma de Pago: CONTADO ANTICIPADO
 Cuenta corriente Banco De Bogota No. 062129259
 Cuenta corriente Banco Caja Social No. 21000205136
 Cuenta corriente Citibank No. 1009479178
 Cuenta corriente Bancolombia No. 23142266694
 A nombre de SETEFER LTDA
 Validez de la Oferta: 15 dias SALVO VENTA PREVIA

Cordialmente,

 ING. DANIEL FELIPE ROJAS
 ESP. EN INSTRUMENTACION Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

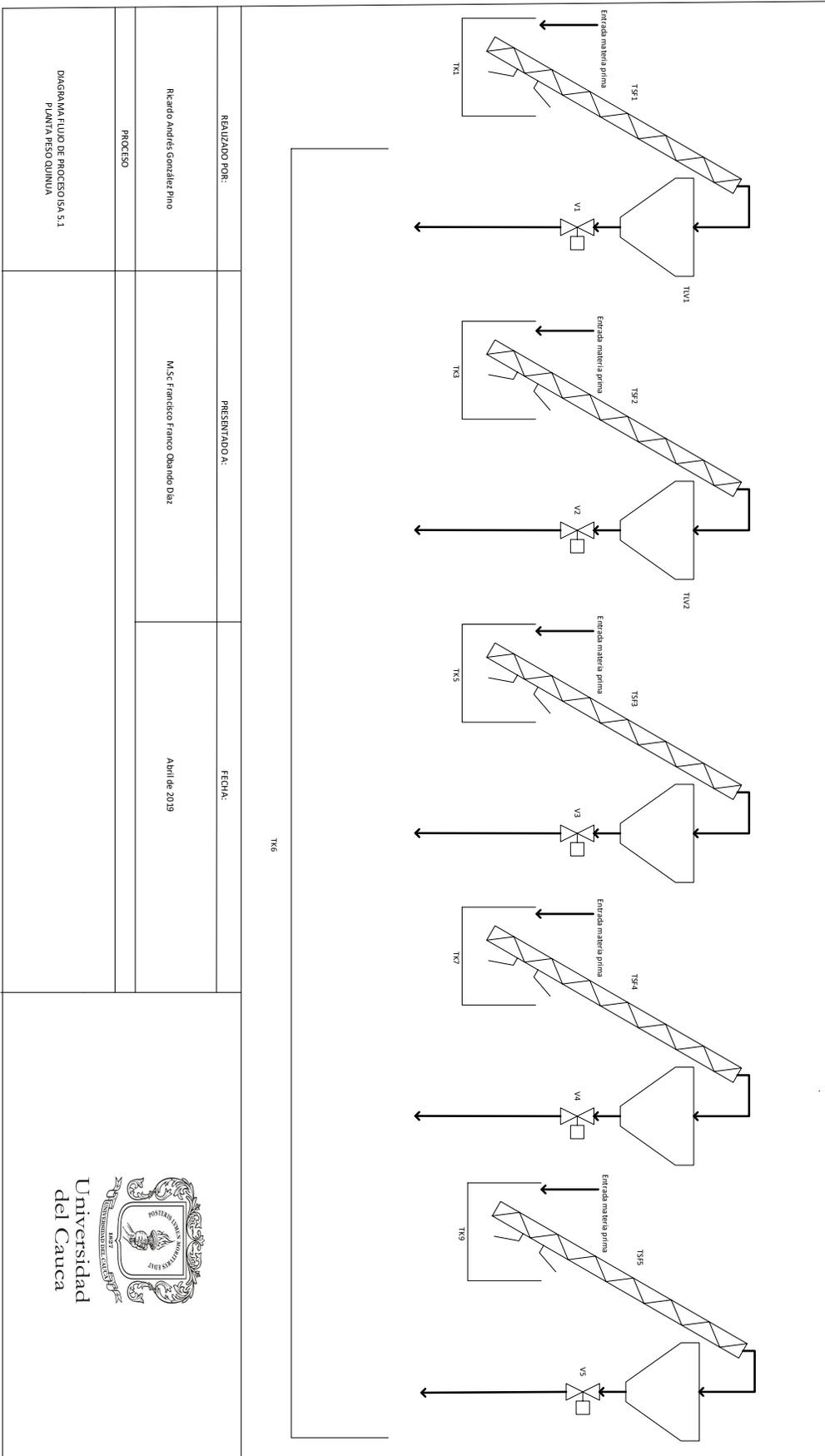
Anexo L

Modelo 3D dosificador

Este anexo contiene el modelo 3D del dosificador con cada uno de sus componentes, así como el modelamiento del mezclador y elevador existentes en la planta, se anexan en herramienta digital de edición Solidworks.

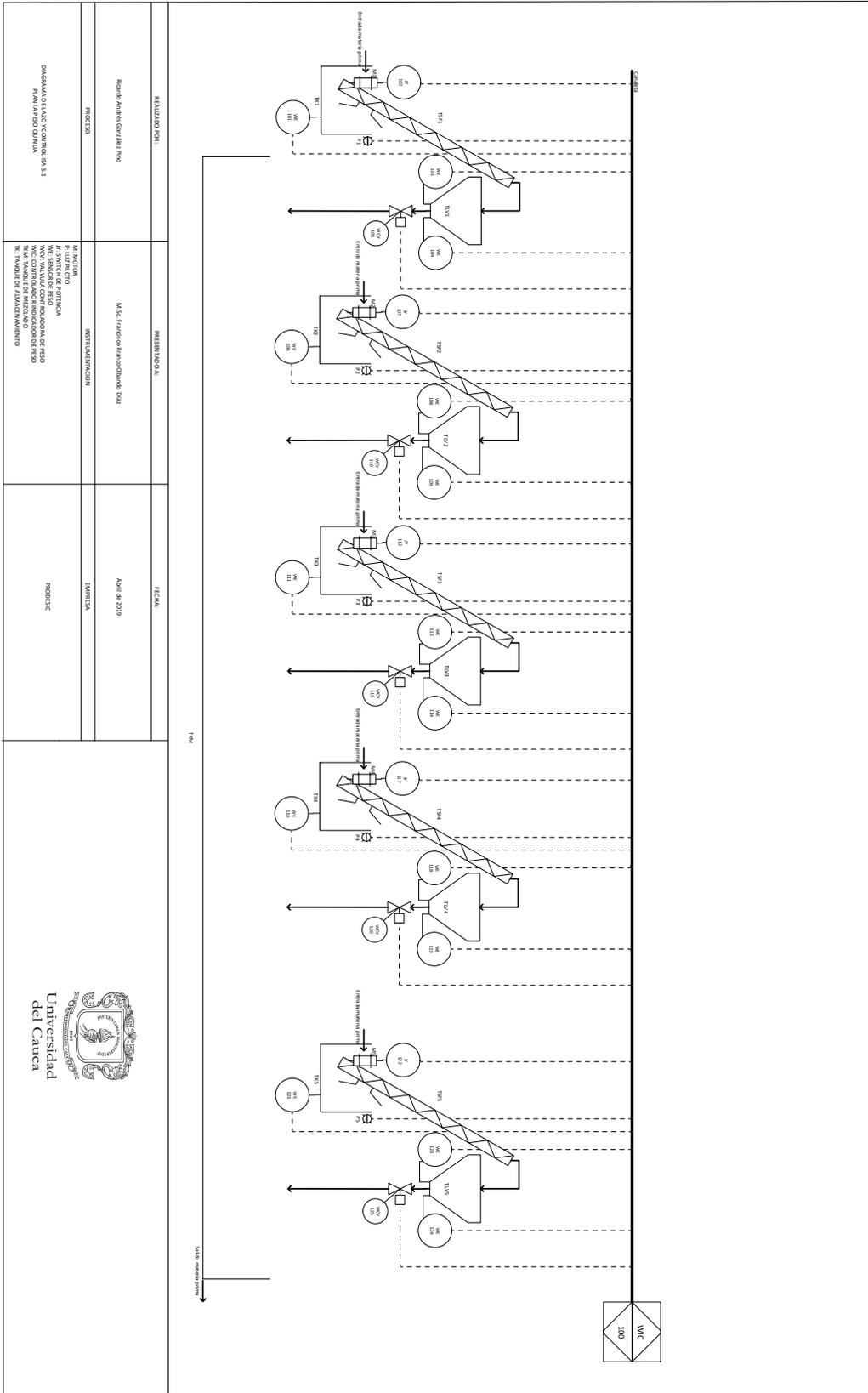
Anexo M

Diagrama de Flujo de Proceso



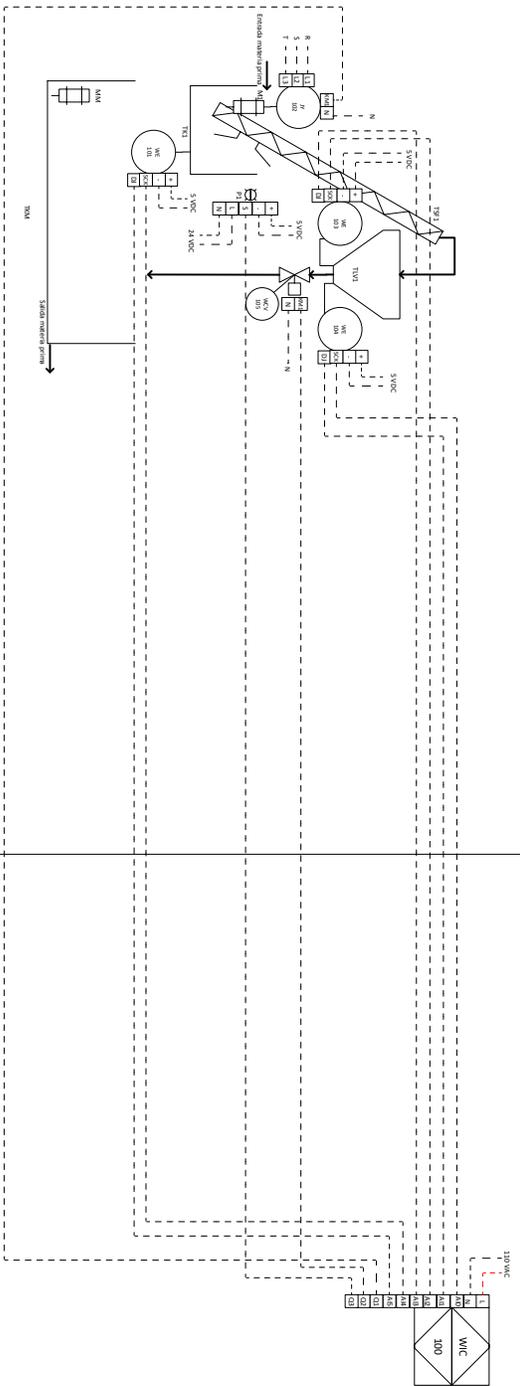
Anexo N

Diagrama P&ID y Diagrama de lazo de control PLC



CAMPO

ARMARIO DE CONTROL



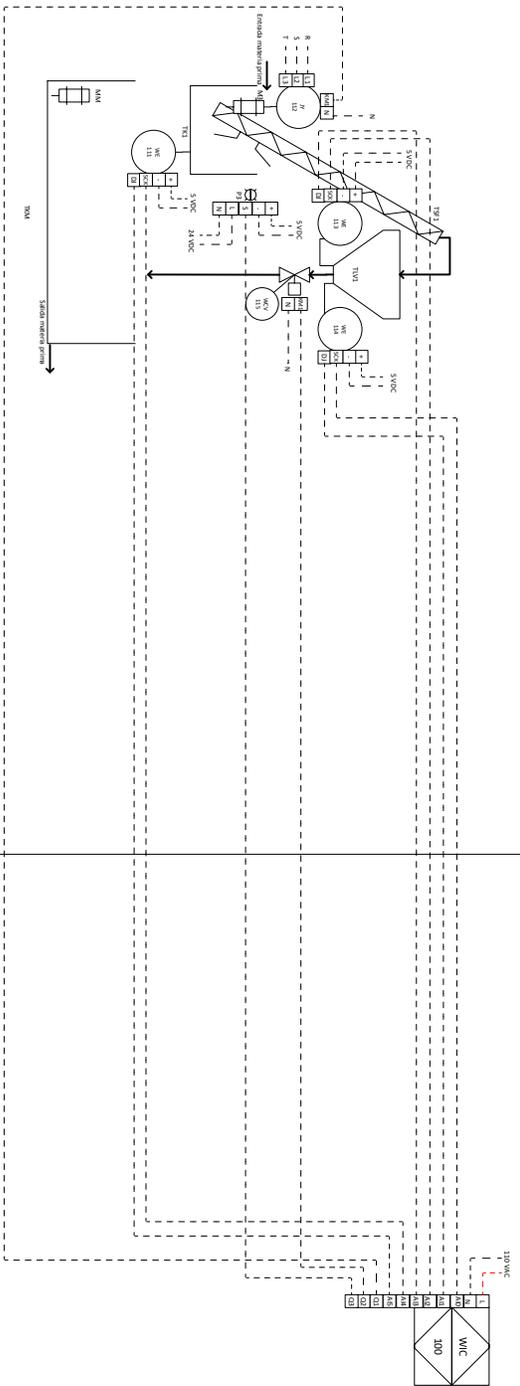
| REALIZADO POR: | PRESENTADO A: | FECHA: |
|--|--|---------------|
| Ricardo Andrés González Rino | M.Sc. Francisco Franco Osando Diaz | Abril de 2019 |
| PROCESO: | INSTRUMENTACION: | EMPRESA: |
| DIAGRAMA DE LADO Y CONTROL S.A.S.1 PLANTA PESO CALIMA | M1: MOTOR 1 P1: LÍNEA PILOTO 1 WFC: SENSOR DE PISO WCV: VALVULA CONTROLADORA DE PISO TMI: TAMBOR DE ALMACENAMIENTO MAM: MOTOR DE MEZCLADO | INDUSKIC |



| CAMPO | | ARMARIO DE CONTROL | |
|--|---|---------------------------------|--|
| <p>REALIZADO POR: Ricardo Andrés González Rino</p> | <p>INSTRUMENTADA: M.Sc. Francisco Franco Osando Diaz</p> | <p>FECHA: Abril de 2019</p> | |
| <p>PROCESO: DIAGRAMA DE LAZO Y CONTROL ISA S.1. PLANTA PESO QUINUA</p> | <p>INSTRUMENTACION: M2: MOTOR 2 P2: LIZ PILOTO 2 W: SENSOR DE FLECHA WC: CONTROLADOR DE PISO WCV: VALVULA CONTROLADORA DE PISO T1: TAMBOR DE ALMACENAMIENTO M1: MOTOR DE MEZCLADO</p> | <p>EMPRESA: MOOSIC</p> | |
| | | | |

CAMPO

ARMARIO DE CONTROL

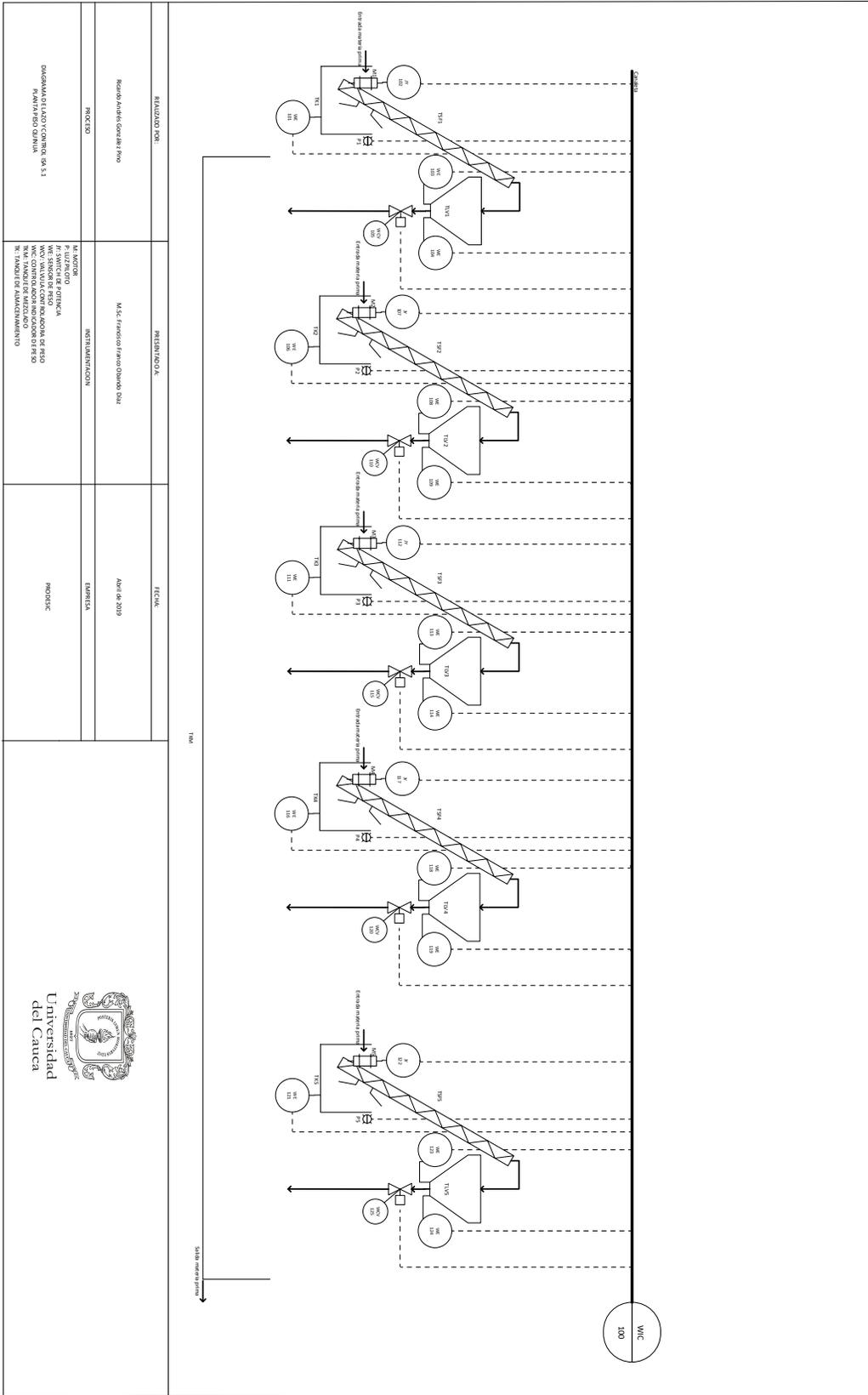


| | | |
|---|---|---------------|
| REALIZADO POR: | INGENIERO(A): | FECHA: |
| Realizado por Andrés González Rino | M.Sc. Francisco Franco Osando Diaz | Abril de 2019 |
| PROCESO: | INSTRUMENTACION | EMPRESA: |
| DIAGRAMA DE LADO Y CONTROL S/A S.1 PLANTA ESCOLINA | M3: MOTOR 3 P3: LIZ PILOTO 3 FAN: FAN TS: SENSOR DE PISO WVC: VANVULA CONTROLADORA DE PISO T1: TAMBOR DE ALMACENAMIENTO M1: MOTOR DE MEZCLADO | PROYECT: |



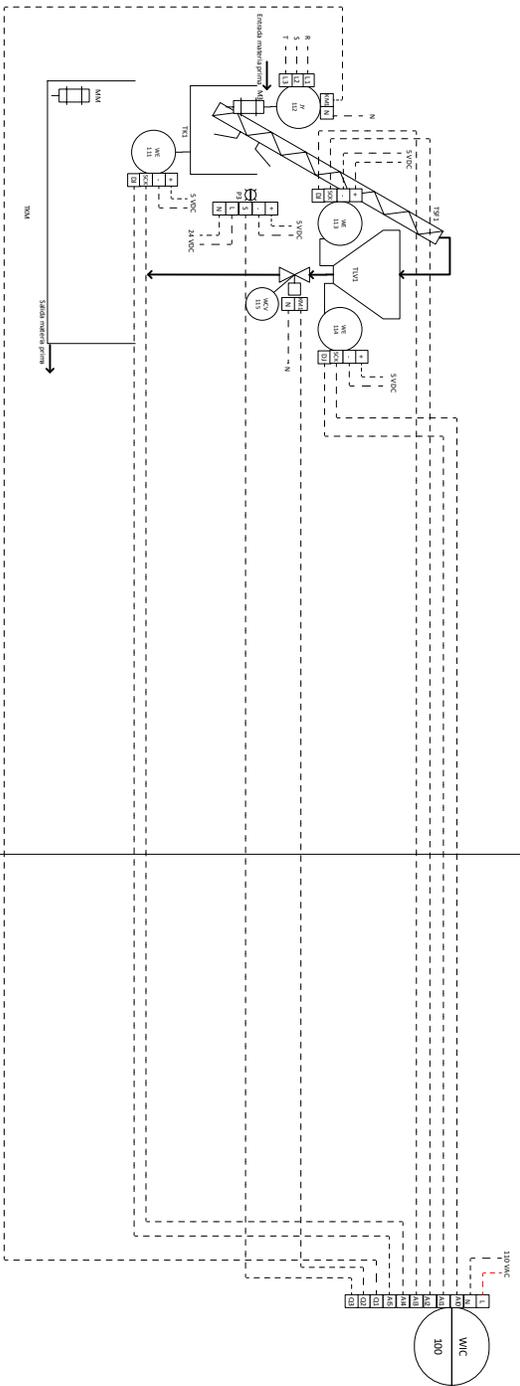
Anexo Ñ

Diagrama P&ID y Diagrama de lazo de control Arduino

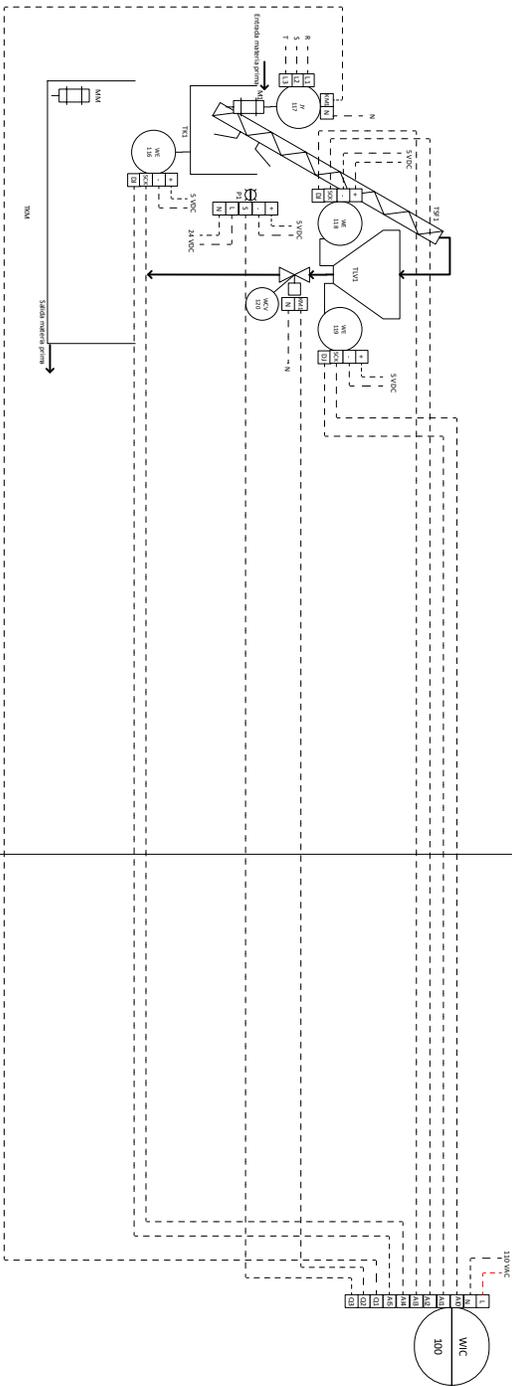
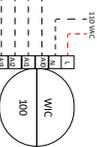


CAMPO

ARMARIO DE CONTROL



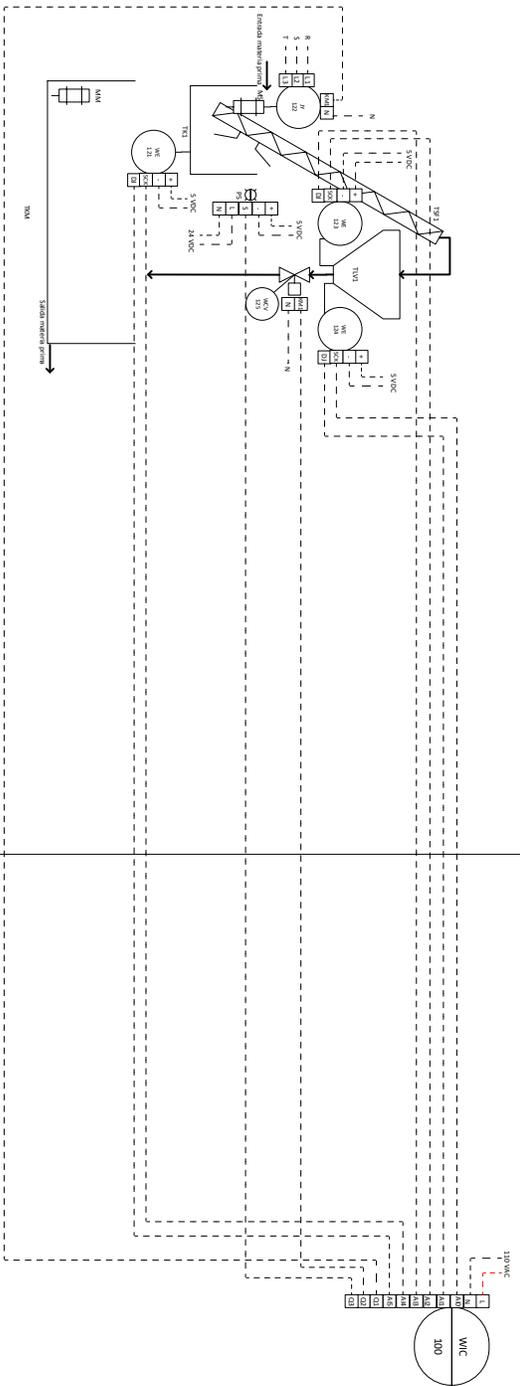
| | | | |
|--|--|------------------------------------|---|
| <p>REALIZADO POR:</p> <p>Rodrigo Andrés González Rino</p> | <p>INSTRUMENTADA:</p> <p>M.Sc. Francisco Franco Obando Díaz</p> | <p>FECHA:</p> <p>Abril de 2019</p> |  |
| <p>PROCESO:</p> <p>DIAGRAMA DE LADO Y CONTROL S/A S.1 PLANTA FOSFOGRAN</p> | <p>INSTRUMENTACION:</p> <p>M3: MOTOR 3 P3: LIZ PILOTO 3 W3: SENSOR DE FLECHA WCV: VALVULA CONTROLADORA DE PISO T3: TAMBOR DE ALMACENAMIENTO M.M: MOTOR DE MEZCLADO</p> | <p>EMPRESA:</p> <p>PRODISC</p> | |
| <p>REALIZADO POR:</p> <p>Rodrigo Andrés González Rino</p> | | | |

| CAMPO | | ARMARIO DE CONTROL | |
|---|---|---|--|
| REALIZADO POR: Ricardo Andrés González Rojas | INSTRUMENTADA: M.Sc. Francisco Franco Osando Diaz | FECHA: Abril de 2019 | |
| PROCESO: DIAGRAMA DE LAZO Y CONTROL S.A.S.1 PLANTA HIESO QUINUA | INSTRUMENTACION: M1: MOTOR 1 P1: LEZ PILOTO 1 F1: FANALDA W1: SENSOR DE PESO W2: SENSOR DE PESO W3: VALVULA CONTROLADORA DE PISO W4: VALVULA CONTROLADORA DE PISO T1: TAMBOR DE ALMACENAMIENTO M2: MOTOR DE MEZCLADO | EMPRESA: PROBOSIC | |
|  <p>The diagram shows a process flow involving several tanks (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16, T17, T18, T19, T20, T21, T22, T23, T24, T25, T26, T27, T28, T29, T30, T31, T32, T33, T34, T35, T36, T37, T38, T39, T40, T41, T42, T43, T44, T45, T46, T47, T48, T49, T50, T51, T52, T53, T54, T55, T56, T57, T58, T59, T60, T61, T62, T63, T64, T65, T66, T67, T68, T69, T70, T71, T72, T73, T74, T75, T76, T77, T78, T79, T80, T81, T82, T83, T84, T85, T86, T87, T88, T89, T90, T91, T92, T93, T94, T95, T96, T97, T98, T99, T100) and pumps (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P24, P25, P26, P27, P28, P29, P30, P31, P32, P33, P34, P35, P36, P37, P38, P39, P40, P41, P42, P43, P44, P45, P46, P47, P48, P49, P50, P51, P52, P53, P54, P55, P56, P57, P58, P59, P60, P61, P62, P63, P64, P65, P66, P67, P68, P69, P70, P71, P72, P73, P74, P75, P76, P77, P78, P79, P80, P81, P82, P83, P84, P85, P86, P87, P88, P89, P90, P91, P92, P93, P94, P95, P96, P97, P98, P99, P100). It also includes a control loop diagram with an Arduino controller (W1C) and a motor (M1).</p> | |  <p>The control loop diagram shows a 120 VAC power source connected to a terminal block with 12 terminals. A circular component labeled 'W1C 300' is connected to the terminal block. The diagram also shows a 'SALIDA CONTROL PRIMO' output and a 'M2' component.</p> | |



CAMPO

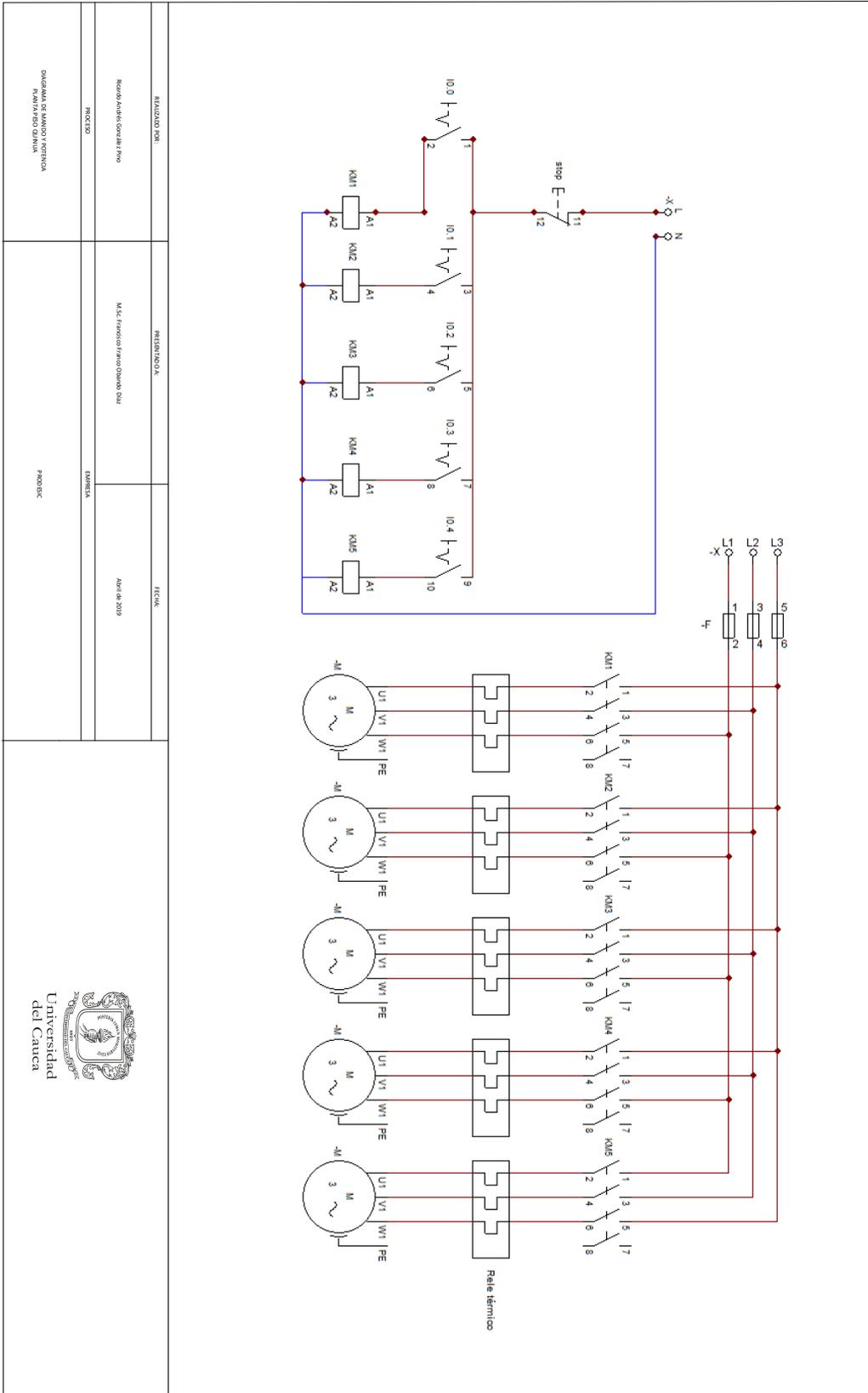
ARMARIO DE CONTROL



| | | |
|---|--|---|
| REALIZADO POR: | INSTRUMENTADA: | FECHA: |
| Rodrigo Andrés González Rino | M.Sc. Francisco Franco Osando Diaz | Abril de 2019 |
| PROCESO: | INSTRUMENTACION | DIAGNOSTIC |
| DIAGRAMA DE LAZO Y CONTROL S.A.S.1 PLAN DE LAZOS SIMAN | M.S. MOTOR 5 P.S. LEU PILOTOS M.S. MOTOR DE POTENCIA W.C. CONTROLADO INDICACION DE PISO W.C. VALVULA CONTROLADORA DE PISO T.E.L. MANEJO DE ALIMENTAMIENTO M.M. MOTOR DE MEZCLADO |  |

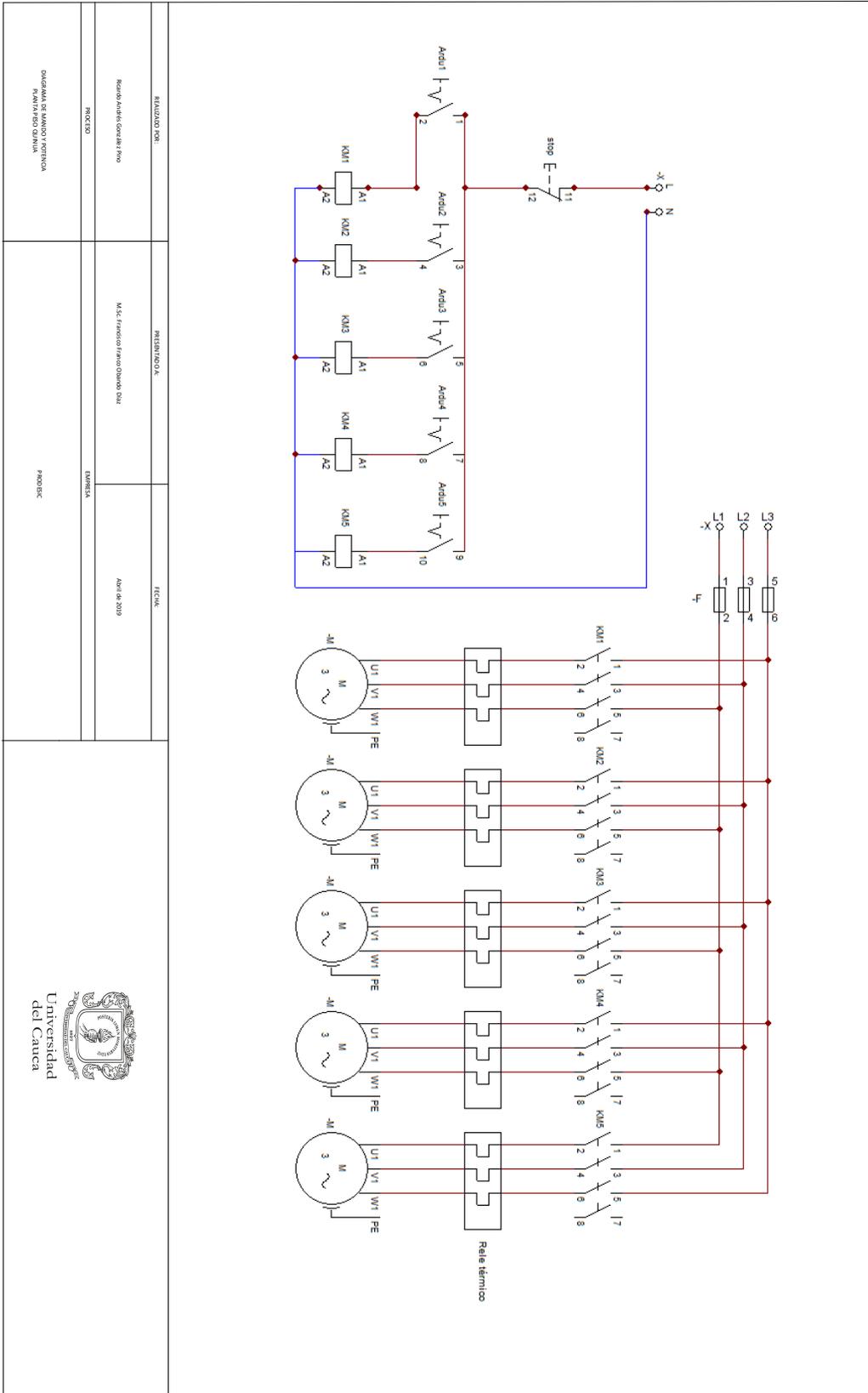
Anexo O

Diagrama Mando y Potencia PLC



Anexo P

Diagrama Mando y Potencia Arduino



| | | |
|--|------------------------------------|---------------|
| REALIZADO POR: | PRESENCIA DE: | FECHA: |
| Roberto Andrés González Prieto | M.Sc. Francisco Franco Obando Díaz | Abril de 2019 |
| PROCESO: | OPORTUNIDAD: | |
| DIAGRAMA DE MANDO Y POTENCIA PARA UN BOTÓN STOP | PROYECTO: | |



Anexo Q

Aval del proyecto

Este anexo contiene la decisión tomada por la empresa con respecto al diseño propuesto.



FUNDACIÓN DE PROFESIONALES PARA EL DESARROLLO

PRODESIC NIT: 900285180-5

www.prodesic.org

Popayán, 17 de junio de 2019

Señores:

Comité de Programa de Ingeniería en AUTOMÁTICA INDUSTRIAL

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Universidad del Cauca

Asunto: Evaluación de práctica profesional a cargo del estudiante RICARDO ANDRES GONZALEZ PINO de Ingeniería en AUTOMÁTICA INDUSTRIAL de la Universidad del Cauca.

En mi calidad de Gerente de La Fundación de Profesionales para el Desarrollo PRODESIC , NIT No. 900285180-5, certifico que nuestra entidad ha otorgado el aval al estudiante RICARDO ANDRES GONZALEZ PINO, identificado con c.c. 1.061.807.845, con el proyecto de dosificación automático para productos a base de quinua. El proyecto cumplió cabalmente los objetivos propuestos generando una solución de diseño viable para la empresa teniendo en cuenta los requerimientos previamente establecidos.

El proyecto se encuentra en etapa constructiva.

Atentamente,

EDWIN FERNANDO MUNOZ CERTUCHE

Gerente PRODESIC

NIT 900285180-5

Telefax: 8339583

Dirección: Carrera 9 # 12 A 21 Popayán

