	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA DOSIFICADORA DE GRANO

Edisson Monsalve Roldán

Programa Académico

Ingeniería Electromecánica

Director(es) del trabajo de grado:

Manuel Alejandro Ospina Alarcón

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Fecha

17/07/2019

RESUMEN

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

¿Qué se hizo?

Se Presenta un prototipo específico de máquina dosificadora semiautomática por caída gravitacional, donde la variable medida está en unidades de masa. La máquina dosificadora lo que hace es: que el material caiga de la tolva principal a una banda transportadora, la cual lleva el producto hasta la tolva medible de una manera uniforme; la banda transportadora está controlada por un motor reductor de corriente directa, que trabaja recibiendo el voltaje modulado por pulsos (PWM - Modulación por ancho de pulso) a través de un lazo de control programado desde un autómatas (PLC), el modulo que genera el PWM, es un PID que trabaja controlando la variable de masa que es medida en la celda de carga. Una vez cumpla el proceso con la medida másica programada por medio de un set point, reflejado en una pantalla HMI. La tolva se abre por medio de otro motor reductor adaptado para que haga las veces de pistón con dos finales de carreras uno inicial y otro final que ayudan a la conexión, desconexión del motor y finalización del proceso.

¿Cómo se hizo?

Con respecto al diseño estético y mecánico, la dosificadora se hizo con materiales en MDF, la tolva principal, y la tolva de recolección se hicieron con diseños ajustados, y acordes a la banda transportadora la cual se compró hecha en mercado libre.

La tolva principal se analizó para que el material que desciende de manera gravitacional salga de manera controlada o uniforme, más no esparcida, con el fin de evitar variaciones fuertes en la tolva de medida, por medio de un acceso similar a una compuerta, que es puesta dando frente y centrado, a lo largo de la banda transportadora.

Con respecto a la tolva de descarga, se le adapto un motor reductor que por medio de un tornillo, respecto al sentido de giro permite que la tolva abra o cierre, y unos finales de carrera los cuales ayudan a la apertura, cierre y finalización del proceso, una vez la maquina concluye su medida.

La parte de comunicación del lazo de control cerrado se hizo por medio de elementos electrónicos. Todas las señales son llevadas a una caja que facilita la comunicación con el PLC, donde se conectan: entradas y salidas digitales, entrada análoga y alimentación a 24 voltios. Finalmente se programó la dosificadora semiautomática en TIAPORTAL para PLC SIMENES 1200, se programó la variable de masa a modo que se pueda escalizar y ajustar, para que la medida sea porcentualmente precisa; se hizo el PID y se generó el PWM, de manera que a través de la interfaz hombre maquina se diera: acondicionamiento, set point, start y stop.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

¿Para qué se hizo?

El prototipo de maquina dosificadora se hizo con el fin de que los estudiantes académicamente puedan entender de una manera más amplia con ayuda del educador, la importancia y el comportamiento de un lazo de control cerrado, ya que se visualiza que dentro de la industria colombiana hay muchos procesos similares al del prototipo y en vez de optar por un proceso automatizado prefieren ejecutarlo manualmente; y en otros casos se considera la compra de máquinas que resuelven esta dificultad, pero no tienen la capacitación de programar, poner en marcha o realizar ajustes por falta de capacitación o desconocimiento. Se pretende con la utilidad del producto de laboratorio académicamente, se abra el entendimiento de los estudiantes y los forme más competentes en este aspecto respecto a la resolución de problema.

Palabras clave: Dosificador, masa, celda de carga, PWM, control PID, semiautomático, Instrumentación industrial.

RECONOCIMIENTOS

Agradecimientos totales a Dios padre creador del cielo y de la tierra por permitirme llevar a cabo este producto y ayudarme a obtener este logro de ser un Ingeniero, como reconocimiento especial, al Dios de maravillas de poder y autoridad, porque creo en él y creo en su fidelidad.

A Manuel Alejandro Ospina asesor, instructor y un profesor con alta ética laboral el cual le quiero mostrar reconocimiento, ya que con su paciencia y buen trabajo logramos sacar un excelente producto el cual ayudará a fortalecer el conocimiento de los estudiantes en las prácticas de laboratorio relacionadas con PLC1, PLC2 e INSTRUMENTACION INDUSTRIAL.

A los laboratoristas de PLC por su disposición para prestar las necesidades con los equipos y a la resolución de dudas presentadas con los autómatas o el programa s7, Tiaportal y wincc.

Al semillero de investigación de automática el cual lo encabezan Alexander Izasa, Manuel A. Ospina y el profesor Orlando Zapata.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

A la Iglesia Fuego y Transformación que Aviva las Naciones por haberme presentado al Príncipe de paz, Jesús mi señor, porque todo lo que se dice y se hace, es en el nombre fuerte de él, también A Nora Paternina, aquella empresa y estudiantes que contribuyeron con ideas de ensamble y apoyo moral.

ACRÓNIMOS

PWM – Modulación por ancho de pulso

PLC – Controlador Lógico programable.

HMI – Interface Hombre máquina

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	5
2. MARCO TEÓRICO	9
3. METODOLOGÍA.....	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	33
REFERENCIAS	34
APÉNDICE.....	¡Error! Marcador no definido.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

El producto de laboratorio básicamente se enfoca en trabajar con la variable de masa, donde a través de una celda de carga, el material es medido.

La máquina dosificadora se hizo con el fin de que los estudiantes académicamente puedan entender de una manera más amplia, la importancia y el comportamiento de un lazo de control cerrado, ya que se visualiza, que dentro de la industria colombiana hay muchos procesos similares donde realizan dosificación, y en vez de optar por un proceso automatizado prefieren ejecutarlo manualmente, como por ejemplo de donde se observó y surgió la idea. Allí los operarios recogían un producto de manera manual, así mismo era empacado y finalmente llevado a una báscula; y allí tomaban la medida y a veces añadiendo, o a veces reduciendo el contenido, finalizaban el proceso.

En otros casos industriales, consideran la compra de máquinas que resuelven esta dificultad, pero no cuentan con la mano de obra que tenga la capacitación para programar, poner en marcha o realizar ajustes. Finalmente terminan gastando más de lo que invirtieron; contratando mano de obra externa, para hacer algo que los electromecánicos tienen la capacidad de resolver dentro de cualquier empresa. Llegando al extremo de depender de contrataciones externas, y hasta de los mismos mantenimientos; que a la larga generan un crecimiento en pérdidas: por tiempo, mano de obra y disposición.

Entonces se pretende con la utilidad del producto de laboratorio, que académicamente se abra el entendimiento de los estudiantes y se formen más competentes en este aspecto, respecto a la resolución de problemas.

Inicialmente el producto a dosificar es introducido por la tolva principal, la cual se hizo similar a las tolvas de grano (ver Figura 1). Analizando esta tolva y otras similares, se sacó la idea para hacer la tolva del prototipo; de manera que contribuya a la solución de la necesidad, donde el material que desciende salga uniforme, más no esparcido; con el fin de evitar variaciones elevadas en la tolva de medida, haciendo un acceso, como compuerta que ayuda dar una linealidad del producto mientras se transporta por una banda, así el producto no se dispersa, y no varía bruscamente la medida en donde será depositado, como finalmente se hizo (ver figura 2).



Figura 1. Esquema Tolva producto de grano.
Fuente: (Direct Industry, 2019)

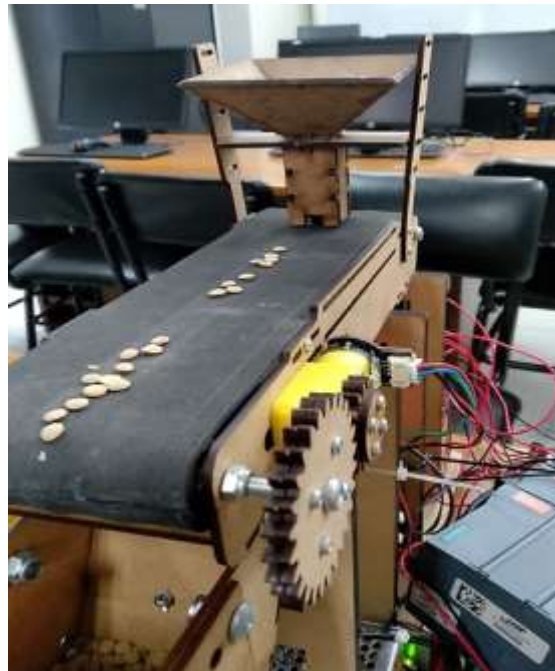


Figura 2. Tolva del producto de laboratorio.
Fuente: Elaboración Propia.

Con respecto a la tolva de descarga, se le adaptó un motor reductor soportado sobre un rodamiento (para que ayude al movimiento angular de apertura y cierre de la tolva), empotrado en un lateral, al cual en la transmisión de salida del eje del motor, se le hizo un acople que a su vez sostiene un esparrago, y respecto al sentido de giro que dé el motor, permite que la tolva abra o cierre.

El rodamiento acoplado a la tolva de descarga tiene sobre este, un elemento ortogonal; el cual permite tener la altura para que la tuerca que tiene soldada, esté paralela al esparrago que es el que va girar en un sentido u otro dentro de la tuerca.

Así se transmite la fuerza, y abre o cierre la tolva, según el sentido de giro; también se visualiza unos finales de carrera los cuales ayudan a la apertura, cierre y finalización del proceso, ya que bajo la ausencia o accionamiento de estos, el autómatas entiende en qué sentido debe girar el motor y cuando terminar el proceso (Ver Figura 3).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 3. Tolva de descarga
Fuente: Elaboración Propia.

La parte de comunicación del lazo de control cerrado se hizo por medio de elementos electrónicos como puente H, circuito diseñado en proteus y plasmado en una tarjeta electrónica, con elementos como: relés, resistencia variable, amplificador instrumental, opto acoplador y un relé de estado sólido, el cual es prestado por la universidad. Todas las señales son llevadas a una caja que facilita la comunicación con el PLC, donde se conectan: entradas y salidas digitales, entrada analógica y alimentación a 24 voltios. Finalmente se programó la dosificadora semiautomática en TIAPORTAL para PLC SIMENES 1200 (ver Figura 4).

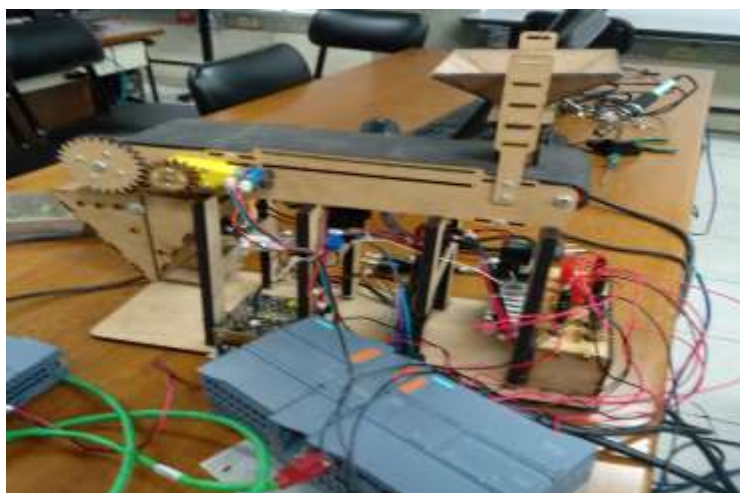


Figura 4. Elementos electrónicos, caja de conexión y PLC 1200

Fuente: Elaboración Propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

También, se programó la variable de masa a modo que se pueda escalizar y ajustar, para que la medida sea porcentualmente precisa; se hizo el PID y se generó el PWM, de manera que a través de la interfaz hombre maquina se diera: acondicionamiento, set point, start y stop y alarmas (Ver Figura 5).

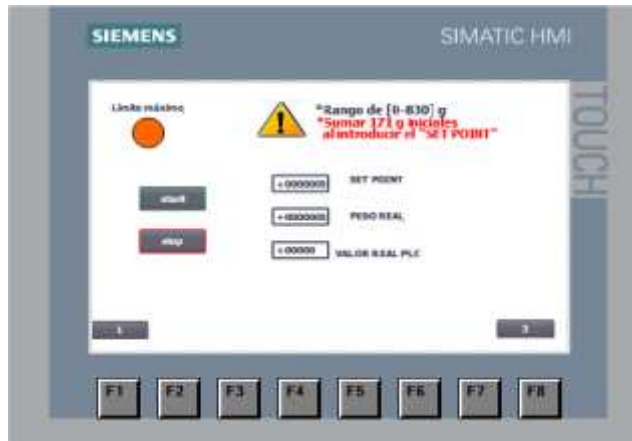


Figura 5. Pantalla Touch HMI.

Fuente: Elaboración Propia.

De este modo se aborda la dosificadora semiautomática como solución; donde se espera que experimentalmente el estudiante de ingeniería y/o tecnología en su etapa de aprendizaje siga los pasos, o se base en los parámetros dados en la guía de laboratorio; bajo los cuales se presenta el prototipo. De manera que la puesta en marcha sea programada de acuerdo a las instrucciones del profesor que dicta el curso de PLC, dicho prototipo aplica para trabajar en los autómatas siemens 300, 1200 y 1500; de este modo, se puede adecuar el sistema de dosificación, desde la programación del PLC, sea por el programa s7 para PLC 300 o TIAPORTAL para los PLC's 1200 y 1500 y comandar el proceso a través de una interfaz HMI.

La celda carga, es el elemento primario de control; y a través de una señal de voltaje va incrementando y reduciendo (PWM), con respecto al producto depositado sobre la celda de carga, el estudiante pueda estar visualizando el valor de incremento en la pantalla Touch, en bits y en gramos, dentro de los parámetros dados por la guía de laboratorio, de acuerdo a la capacidad máxima del sensor, que es de un kilogramo (1 Kg), de manera que cuando se cumpla el set point; pare la banda, seguidamente se acciona el motor que hace de actuador y permitirá una descarga del producto, así el estudiante podrá observar la importancia de escalizar bien una variable análoga, y podrá observar cómo se comporta esta variable a través del tiempo y experimentalmente como se nota el comportamiento PID a través de la salida PWM en el proceso; y así fortalecer las bases acerca del lazo realimentado PID. Dando

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

via libre para lo que desee visualizarse en la pantalla HMI dentro del proceso de automatización sea parametrizada bajo órdenes del profesor o siguiendo la guía de laboratorio.

2. ESTADO DEL ARTE

Se analiza la importancia de las tolvas por caída gravitacional a partir de estos estados del arte: (Petit & Barbosa, 2017; Xiao et al, 2019 y Moya & Ortiz, 2016).

Petit y Barbosa, (Petit & Barbosa, 2017) realizaron en su estudio una simulación de un clasificador de polvo de flujo cruzado con altos contenidos de material particulado (Ver Figuras 6 y 7). Estudiaron el control de la granulometría sugerida para el hormigón con modelos y métodos que se basan en analizar el flujo de aire turbulento en función de las partículas

Estas simulaciones mostraron zonas con existencia de remolinos entre las guías de flujo, afectando el proceso de clasificación en los segmentos F1, F2, F3. Las primeras tolvas, “F1 y F2, colectan material de menor tamaño a medida que la cantidad de sólidos aumenta. El efecto en la tolva F3 es diferente ya que el material colectado tiende a homogeneizarse en un diámetro de aproximadamente 150 μm (ver Figura 6).

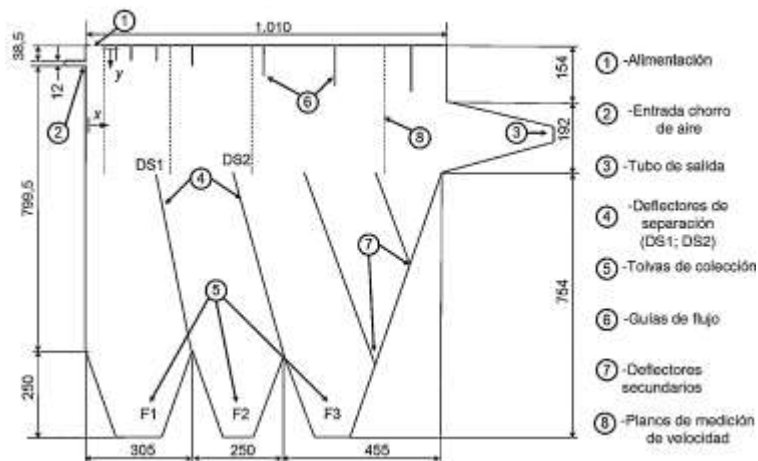


Figura 6. Esquema Tolva dosificadora de aire forzado

Fuente: Petit a & Barbosa, 2017.

El fundamento de las tolvas colectoras es que por efecto gravitacional el material con mayor diámetro o más peso granulométrico caiga primero en las tolvas F1 y F2, (ver Figuras 7.a) y

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

7.b)) pero se evidencian mezclas, es decir que entre más se incrementen los sólidos, el margen de error es más grande y el material en estas dos tolvas (F1 y F2) no tiene un tamaño homogéneo.

El diseño de la tolva y la manera de la clasificación para los gránulos no homogéneos es interesante, pero se considera que no se acopla para las necesidades de este proyecto, aunque haya demostrado que el material recolectado en la sección F3 tiende a homogenizarse, en el artículo divulgan que entre más se alimente con material la tolva más crece el error.



Figura 7.a) Contorno del flujo de aire al interior de la dosificadora

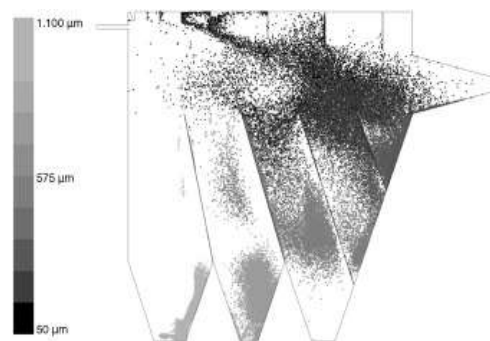


Figura 7. b) Contorno de flujo de partículas al interior de la tolva.

Fuente: Petit a & Barbosa, 2017.

Por otro lado, Xiao et al (Hongyi Xiao, 2019), hablan de la segregación o separación del tamaño de los materiales granulares dispersos durante la descarga de la tolva, es decir la separación de todo granulo no homogéneo. Ya que es importante y son ampliamente utilizadas en varias industrias que manejan sólidos a granel donde los materiales o producto no conservan una homogeneidad constante como lo son: polímeros, minerales, productos agrícolas y materiales farmacéuticos.

La homogeneidad del producto que se encuentre en la tolva es de suma importancia para el proceso posterior y para la calidad del producto en su etapa final. En el estudio aplican un modelo de transporte continuo donde el enfoque experimental y computacional se desarrolla en la escala microscópica.

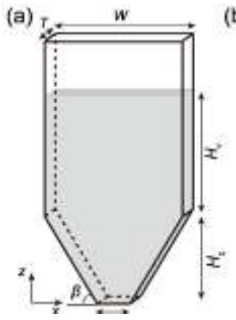


Figura 8. Tolva casi 2D

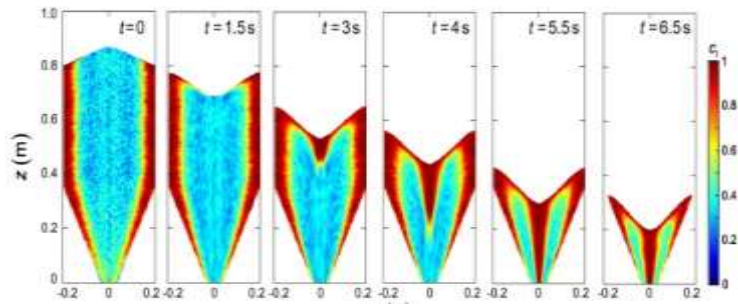


Figura 9. Espectro tolva casi 2D

Fuente: (Hongyi Xiao, 2019)

Para predecir la separación del material granular no homogéneo de la tolva (Ver Figura 8.) (Hongyi Xiao, 2019), observaron que la separación se produce principalmente en una capa superficial donde las partículas se transportan desde las paredes laterales al centro de la tolva (ver Figura 9.) (Espectro oscuro). También mostraron que la descarga puede variar significativamente en la forma de la sección transversal de la tolva y las condiciones de llenado. Señalan que la percolación, (“entiéndase por percolación como el paso lento de fluidos a través de material poroso”) es un mecanismo dominante para la separación de partículas granulométricas no homogéneas.

Al hacer una comparativa con las tolvas 3D vs 2D llegaron a la conclusión que la velocidad de descarga puede ser mayor comparando la una con respecto a la otra y también juega un papel muy importante la inclinación del ángulo en el perfil de descarga, el estudio citado se hace con el fin de considerar este fenómeno ya que la descarga de la tolva principal del material, va ser por medio de caída gravitacional. Esta divulgación sirve como apoyo para confirmar la importancia de la forma geométrica adecuada que debe tener una tolva, esto con respecto a la tolva principal, Por otro lado (ver Moya & Ortiz, (Moya & Ortiz, 2016)) habla con respecto a las tolvas revolucionadas y como mejora la descarga con este concepto cónico, cuando se trata de caída gravitacional.

Moya & Ortiz, (Moya & Ortiz, 2016) presentan el diseño y construcción de una máquina dosificadora por tornillo sin fin para harina en la industria alimenticia donde el estudio radica en el diseño adecuado de la tolva principal; que para el sistema de almacenamiento escogieron una tolva de cono truncado (ver Figura 10.) con una inclinación de $\alpha=30^\circ$, recomiendan tolvas con sección circular puesto que ejercen una compresión gradual sobre el material mientras que las de sección cuadrada ejercen una compresión poco uniforme. Además, calculan el espesor de la tolva a partir de los posibles esfuerzos que la asemejan con una bóveda cónica.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

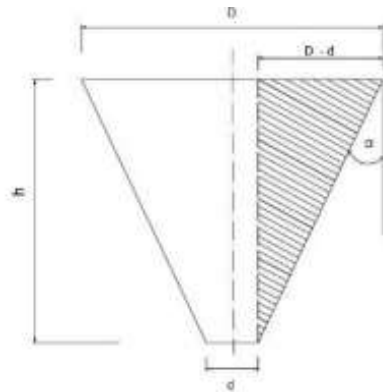


Figura 10. Diseño geométrico de tolva revolucionada.

Fuente: (Moya & Ortiz, 2016)

La ecuación 1 se refiere al volumen geométrico de un cono truncado.

$$V = \frac{\pi}{12} h (D^2 + dD + d^2) \quad (1)$$

Donde:

V = Volumen que representa el cono truncado.

D = Diámetro mayor.

d = Diámetro menor.

h = Altura total.

α = Angulo de inclinación.

El propósito de esta ecuación canónica (ver ecuación 1) es expresar el diseño geométrico adecuado para la tolva, ya que en el estudio del artículo divulgan que las tolvas con sección circular ejercen una compresión gradual sobre el material.

Moya & Ortiz, estudiaron los esfuerzos a los que podría estar sometida la tolva cónica; determinando que los esfuerzos aplicados en está son prácticamente despreciables, sin embargo debieron considerar un espesor que no comprometiera la construcción de la tolva, sobre todo en el proceso de soldadura y barolado (“barolado significa el proceso mediante

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

el cual una lámina es sometida a la acción de una serie de rodillos que le proporcionan a la chapa metálica una forma específica”), por lo cual escogieron para la construcción de la tolva cónica una plancha en acero inoxidable con espesor de 1,5 mm el cual es de uso comercial.

Con estos artículos se evidencia la importancia de una tolva respecto a la descarga y a la viabilidad de un proceso pero por cuestiones de costos, solo se hizo análisis de las tolvas, y el comportamiento en las descargas por caída gravitacional, mas no se incluyó una tolva revolucionada cónica, debido a que, hacerla en MDF no era posible, sin embargo se hizo una prudente investigación teniendo en cuenta la importancia en la descarga de las tolvas por caída gravitacional.

Pero la parte más importante es el control del proceso, respecto a los procesos automáticos como lo es el producto de laboratorio que se realizó, por ejemplo (Gilmar Hernando Tuta Navajas at all, 2015) realizaron una dosificadora automática de alimentos para perro, con el fin de suplir la ausencia del dueño de la mascota a la hora de alimentarlos.

Entonces proponen el diseño y construcción de un prototipo que realice la tarea de alimentar el animal de acuerdo a horarios programados, mientras sus dueños no están. El diseño está dirigido para canes de raza media, ese proyecto “integra las áreas de estudio de la mecatrónica: la mecánica, electrónica y sistemas, desde una perspectiva concurrente, la cual es una característica propia de los sistemas mecatrónicos”. Todo bajo una metodología de Diseño (ver figura 11.).

Con la cual también se emplea para este producto de laboratorio debido a la similitud respecto a la metodología para la implementación y puesta en marcha.

La lógica de control para el sistema de dosificación de alimento para perros (Gilmar Hernando Tuta Navajas at all, 2015) se programó de la siguiente manera: El usuario ingresa la cantidad de alimento (en gramos) que se desea proporcionar al can. En el horario de dosificar, la compuerta se abre, permitiendo la salida del alimento. Con el sensor de peso se muestrea constantemente el estado de la porción servida y cuando su valor este 15% por

debajo de la cantidad deseada se ordena el cierre de la compuerta. La diferencia de esta implementación hecha respecto al producto de laboratorio es que el control lo hacen por medio de un arduino. Por el contrario el producto de laboratorio ejecutado se elaboró para controlarlo desde un autómata programable, PLC.

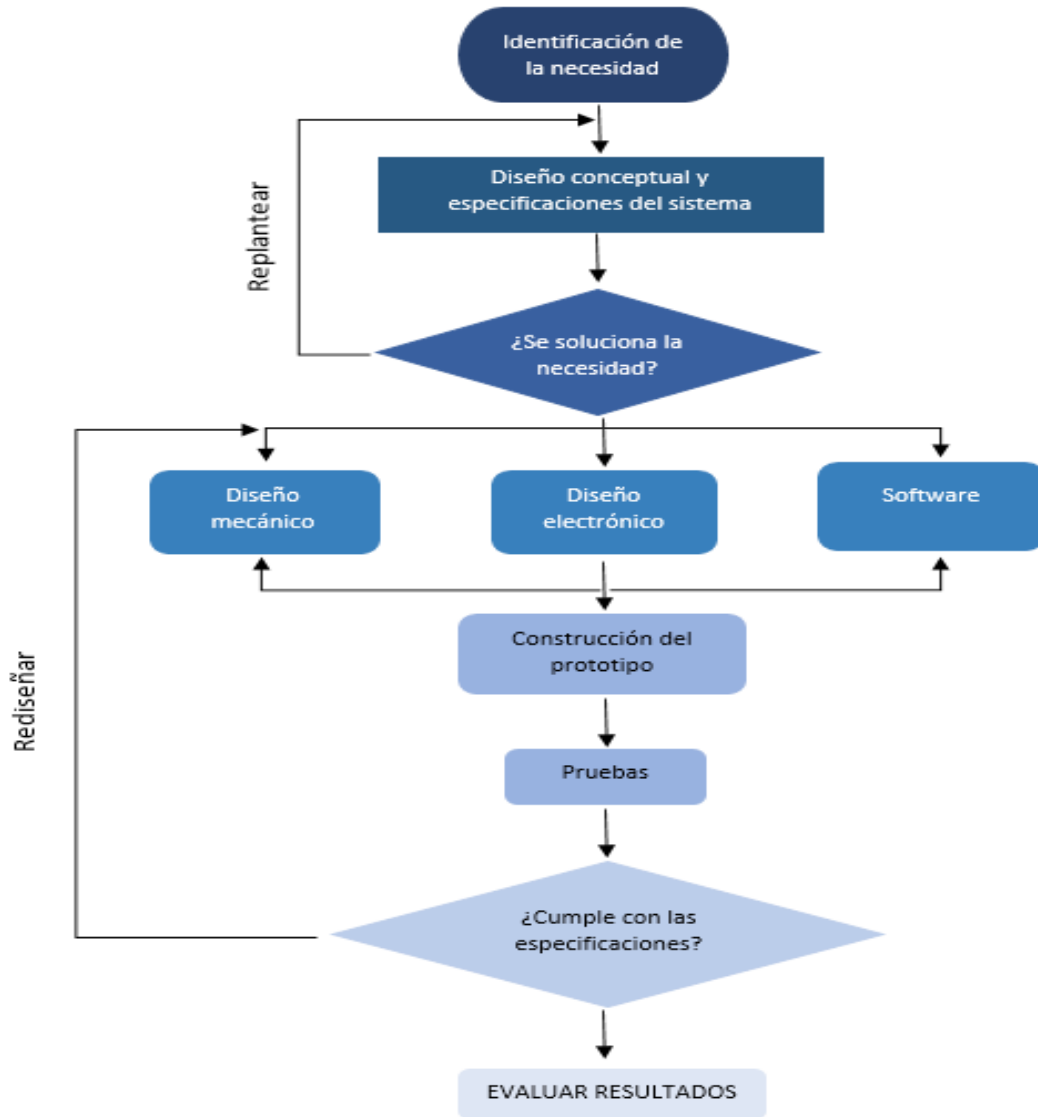


Figura 11. Metodología

Fuente: (Gilmar Hernando Tuta Navajas at all, 2015)

Si bien la medida másica en el prototipo de (Gilmar Hernando Tuta Navajas at all, 2015) es de gran importancia respecto a lo que desean darle al can a la hora programada, y al cierra

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de la compuerta cuando la medida del cuido está al 85%; claramente se evidencia, que es la manera de controlar la dosificación, pero no se lleva un análisis porcentual ni por encima ni por debajo, respecto a lo que desean darle al can, estos utilizando un sensor de fuerza piso resistivo para la medida másica (ver Figura 12.), sin embargo no hay un control en la medida real con respecto a lo que se eventualmente programa el dueño del can, en términos de gramo. El producto de laboratorio si hace énfasis en la precisión, bajo unos análisis de comportamiento de la celda de carga y bajo parámetros de escalización, donde con la respectiva escala se calibra la celda de carga. A continuación, se analizará algunos de estos sensores de medida másica.

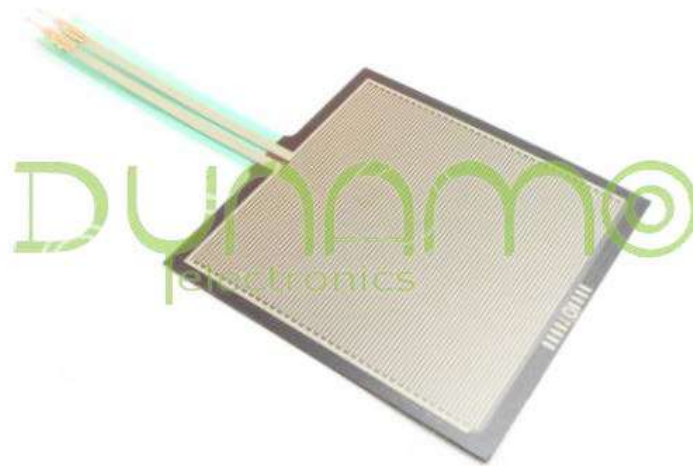


Figura 12. Sensor de fuerza piso resistivo

Fuente: (Gilmar Hernando Tuta Navajas at all, 2015)

3. MARCO TEÓRICO

- **PLANO P&ID**

Este plano hace una descripción instrumental del funcionamiento de la dosificadora.

Partiendo de una tolva principal donde el material a través de la banda transportadora es llevado hasta la tolva de sensado; lugar donde la banda parará cuando el material haya llegado al set point programado por medio de una pantalla HMI. En esta, se ingresan los valores, y se activa o desactiva el funcionamiento de esta banda por medio de un botón start y un botón stop, también muestra las alarmas, y un motor que funciona como actuador eléctrico (ver Figura 13).

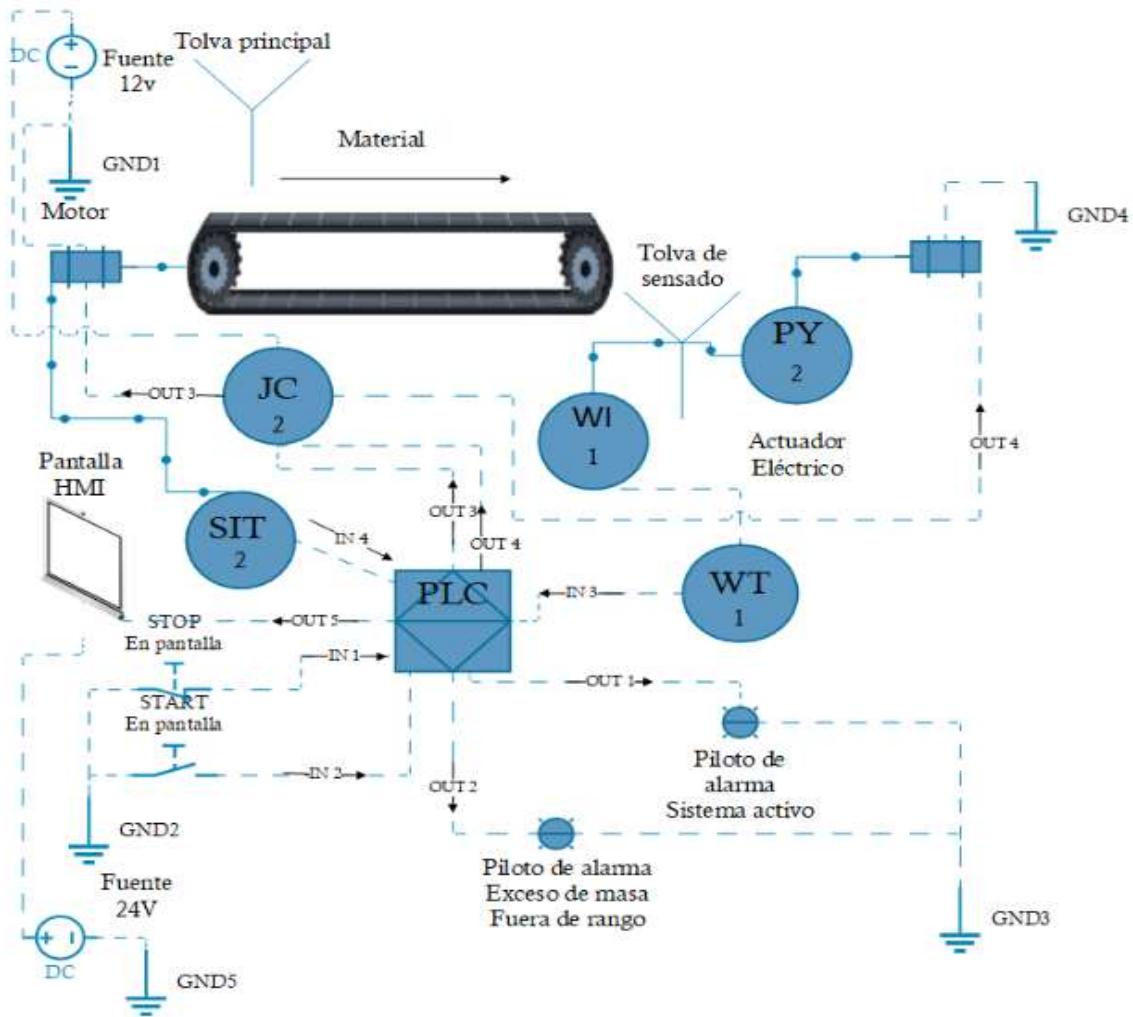


Figura 13. Plano P&ID.
Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la Figura 13 que la dosificadora está compuesta por, fuentes 10v con esta se alimenta la parte electrónica y los motores y 24v que sirve para alimentar

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

los swiches de comunicación Ethernet y la pantalla HMI, y que todas las señales van y salen del PLC, en este caso un PLC s7 1200.

Esta máquina dosificadora consta de conexiones eléctricas de control, conexiones electrónicas y conexiones de red, las cuales se abordan para especificar de donde surge y se pueda profundizar acerca del contenido.

PLANOS DE CONEXIÓN:

- **PLANO ELECTRICO DE CONTROL**

En este plano se observa las conexiones de control utilizadas para el funcionamiento, desde la alimentación al PLC, hasta la caja donde radican todas las señales que son manipuladas en la dosificadora, (ver Figura 14.) donde:

- “IN ANALOG” es el punto de conexión de la señal análoga amplificada de 0-5 v
Donde van de 10v a 0 de “Analog Inputs” del PLC 1200, y 0v a masa “2M” del mismo Lugar.
- “Fuente 24v” es la alimentación de 24v tomada de la fuente del PLC 0V en masa.
- “IN DIG FINAL DE CARRERA” “X_i y X_f” son las señales tomadas de las entradas digitales I0.3 y I0.4 asignadas respectivamente, respecto al PLC para los finales de carrera para detener el motor en la apertura y cierre de la tolva de sensado.
- “IN DIG ENCO” son las señales que vienen del encoder instalado en el motor de la tolva; “A y B” son las señales de datos que van a las entradas digitales I0.0 y I0.1 respectivamente hablando.
- En la parte de “OUT DIG”, se conectan cuatro salidas digitales del PLC al prototipo, una llamada “PWM” la cual va en la Q10.4, utilizada para la variación de la velocidad de la banda.
- Los puntos de conexión llamados “GIR DER y GIR IZQ” son el sentido de giro del motor puesto para abrir y cerrar la tolva de sensado como actuador eléctrico identificados en la conexión como Q10.3 y Q10.2.
- Finalmente La salida “MOT BAND” se utiliza para el accionamiento y giro del motor de la banda transportadora, se le llama Q10.1.

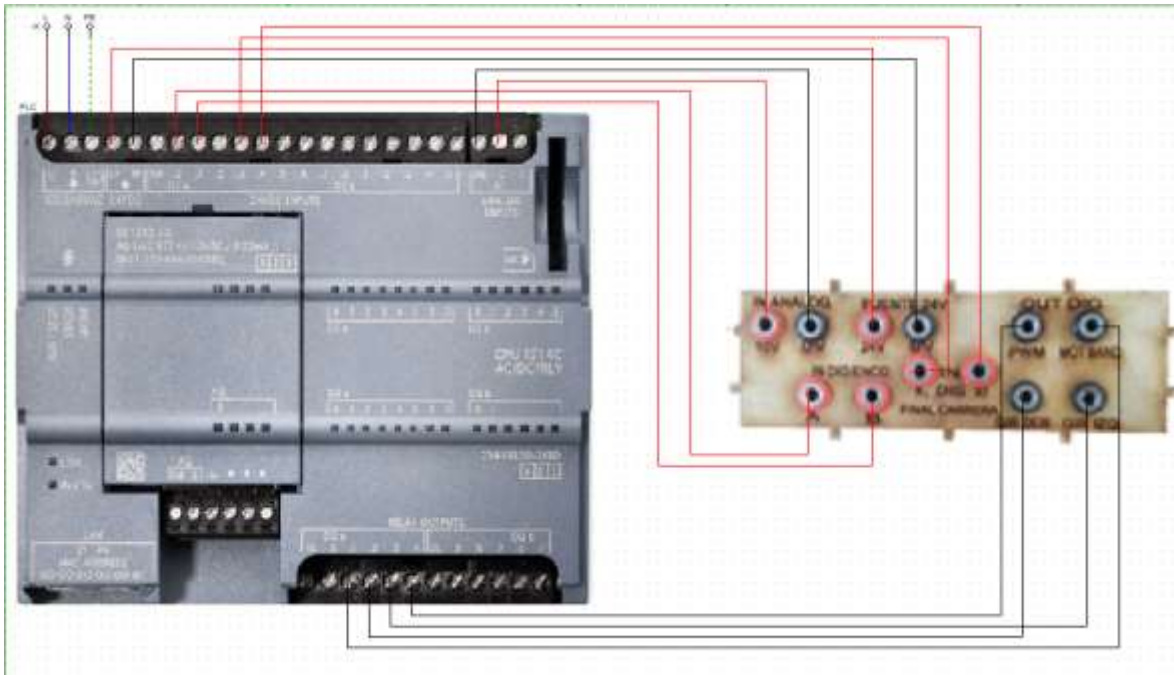


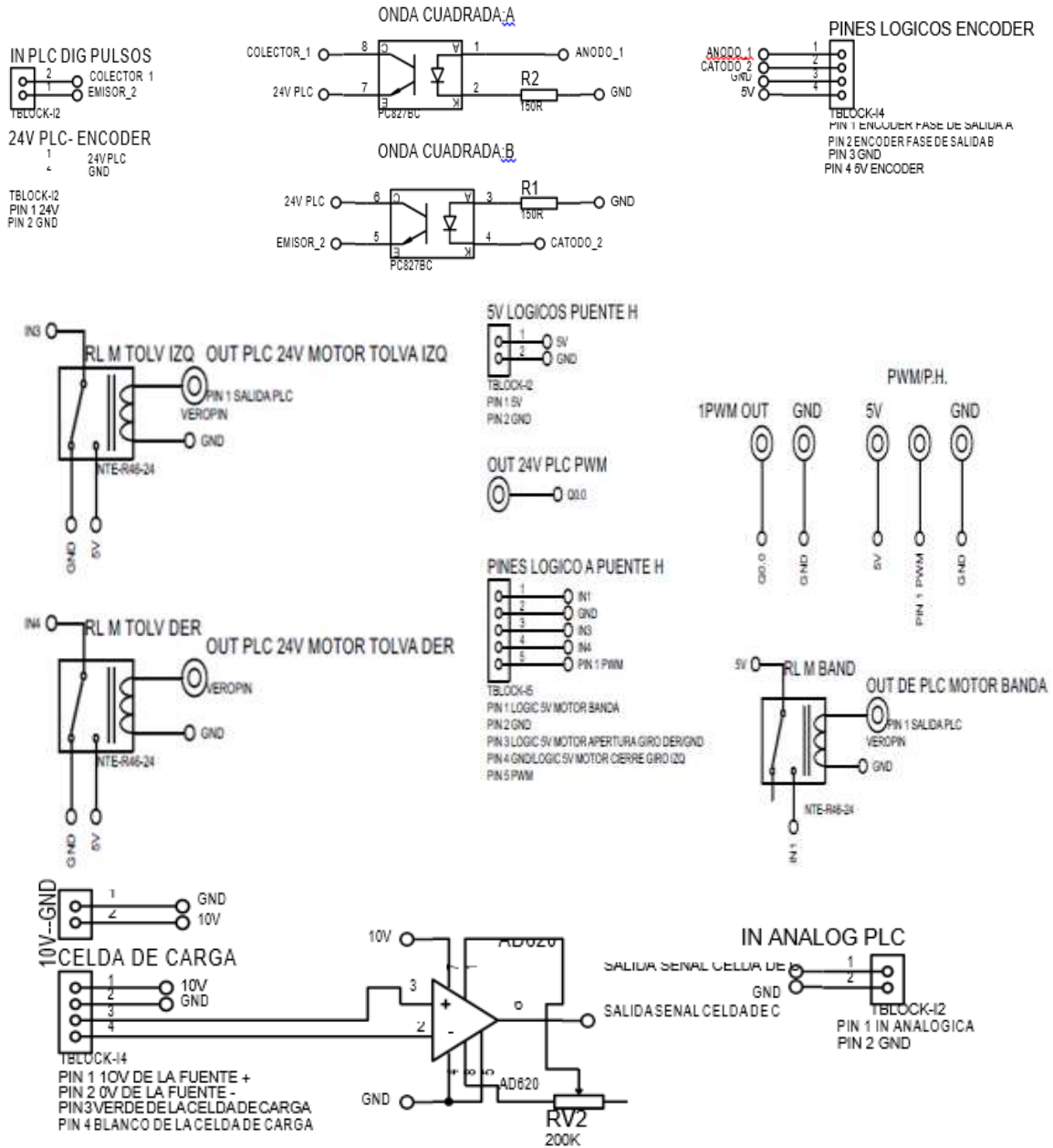
Figura 14. Plano eléctrico de control.

Fuente: Elaboración propia.

- **PLANO ELECTRONICO**

La tarjeta electrónica es la base del funcionamiento de la dosificadora la cual recibe las señales del PLC, y son captadas y llevadas a los elementos de accionamiento y medida (ver Figura 15.)

- “IN DIG PULSOS” es donde llegan las señales A y B del encoder para que haya un funcionamiento y acondicionamiento de un PWM a través del encoder. “ONDA CUADRADA A y B” es el opto acoplador MCT6. “PINES LOGICOS ENCODER” es donde llegan las señales traídas del encoder que está en el motor de la tolva.
- De los relés “RL M TOLV IZQ y DER”, llegan las señales de salida para el motor de la tolva de sensado, para que cierre o abra respectivamente.
- PWM/PH, la señal “1PWM OUT” es la que se conecta en “PWM” en la caja, que viene de la salida digital del PLC y es llevada para el relé de estado sólido, con el que se controla el movimiento del motor.
- “5v LOGICOS PUENTE H” es la alimentación que se genera a 5v sacada del funcionamiento del puente H
- Y por último se encuentra la celda de carga, alimentación a 10v de la fuente, el amplificador AD620 y los puntos donde son llevan las señales de la celda de carga y entrada analógica.



TARGETA ELECTRONICA "EMR"
Figura 15. Plano electrónico.
Fuente: Elaboración propia.

- **PLANO DE RED**

La conexión de red Ethernet, es la que se utiliza para que haya un lazo de comunicación

Cerrado, entre los equipos vistos en la Figura 16; compuestos por “la PC, Pantalla HMI, PLC y Caja de Swiches” enlazados para compartir la información elaborada en TIAPORTAL para el proceso (ver Figura 16).

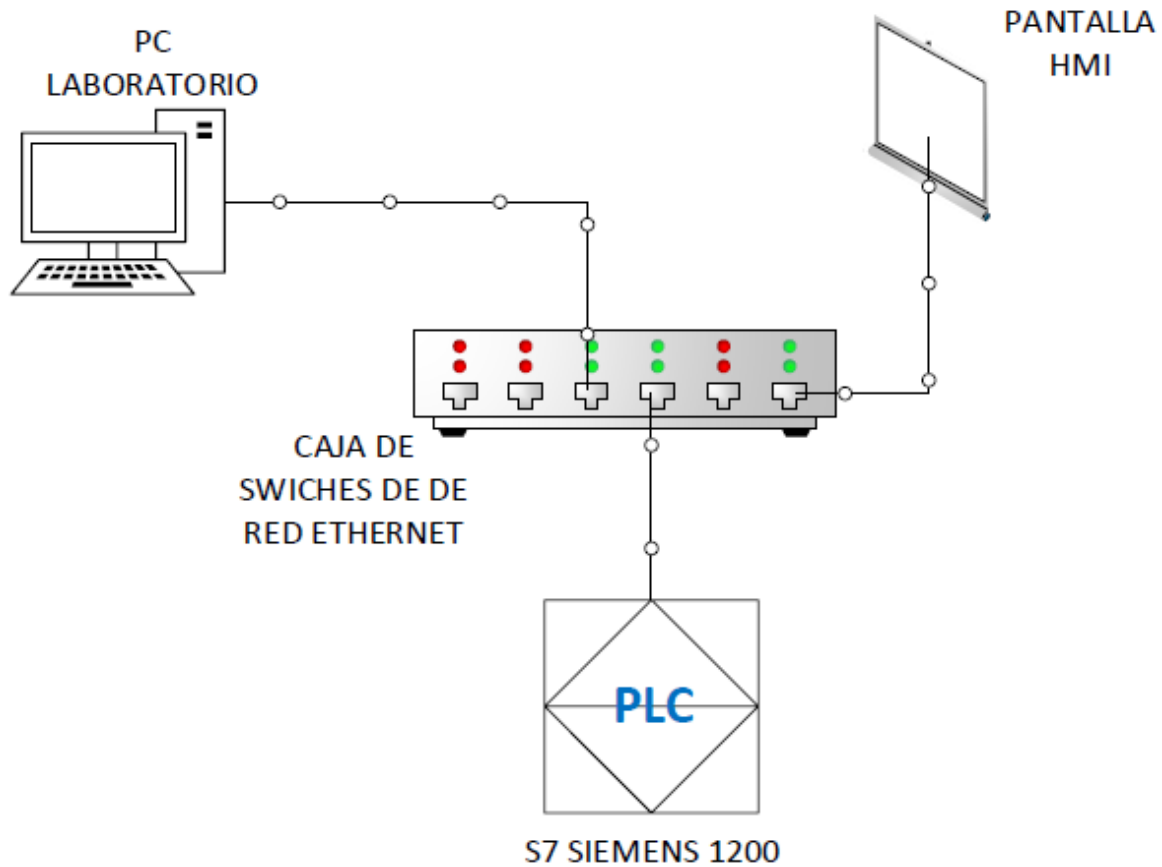


Figura 16. Plano de red.
Fuente: Elaboración propia

Sensores.

Los sensores normalmente utilizados para los procesos donde se mide el peso en unidades de masa de manera manual, semiautomática y/o automática son las celdas de carga. Existen celdas de diferentes materiales, dimensiones y capacidad (Tabla 1) (Ht Sensor Technology Co., Limited, 2015).

	Model No.: TAL220 Capacity : 3, 5,10,20, 30, 50, 80, 100,200 kg Dimension: 80 x12.7 x 12.7 mm Material: aluminum and alloy steel		Model No.: TAL220A Capacity : 2,3,5kg Dimension: 58 x 12.7 x12.7 mm Material: aluminum
	Model No.: TAL220B Capacity : 1,2,3,5, 10,20,50kg Dimension: 55 x 12.7 x12.7 mm Material: aluminum		Model No.: TAL221 Capacity : 100,200,300,500,750g Dimension: 47 x 12 x 6 mm
	Model No.: TAL222 Capacity :0.3, 0.5, 0.6, 1.0, 1.5, 2 kg Dimension: 110 x 33 x 10 mm		Model No.: TAL225 Capacity :20g, 30g, 50g, 100g, Dimension: 840 x 12 x 5 mm
	Model No.: TAL230 Capacity :10,15,20,30,40,50kgs Dimension: 31.7 x 8.0 x 3.0mm		Model No.: TAL230A Capacity :10,15,20,30,40kg Dimension: 40 x 8.0 x3.0mm

Tabla 1. Celdas de carga.

Fuente: (Ht Sensor Technology Co.,Limited, 2015)

El propósito de la Tabla 1 es mostrar diferentes tipos de celdas de carga, con el fin de adaptar una de estas al conjunto a diseñar, basada en la información recolectada y la que más se adecua por dimensiones para el diseño y la prueba piloto en la simulación es el modelo TAL220.

Investigando acerca de las celdas de carga se encontró que: (wikipedia, 2018))

Las celdas de carga son estructuras diseñadas para soportar compresiones, generando tensión y flexión en galgas encontradas en su interior, instaladas como sensores de deformación normalmente llamados “Strain Gauges” detectando los valores de deformación y entregados en mili voltios

Sistema medidor de deformación:

Toda celda de carga debe poseer un adecuado sistema de deformación, que permita una calibración constante y que sea estable con el tiempo y la temperatura. También debe ser capaz de medir deformaciones sobre el rango de del 10%.

Detección y corrección:

Las celdas de carga, mediante un sistema electrónico o el uso de micro computadoras, pueden detectar y a la vez corregir las señales que reciben y ser aplicables en un sistema mecánico.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Posibilidad de interfaz:

Las celdas de carga digitales tienen la ventaja de procesar señales de mili voltios teniendo característica de enviar esta señal a un amplificador digital para que sea recibida en voltios y comparada en gramos o una escala mayor de la misma variable, un ejemplo de estos amplificadores son los display digitales, facilitando el proceso de lectura.

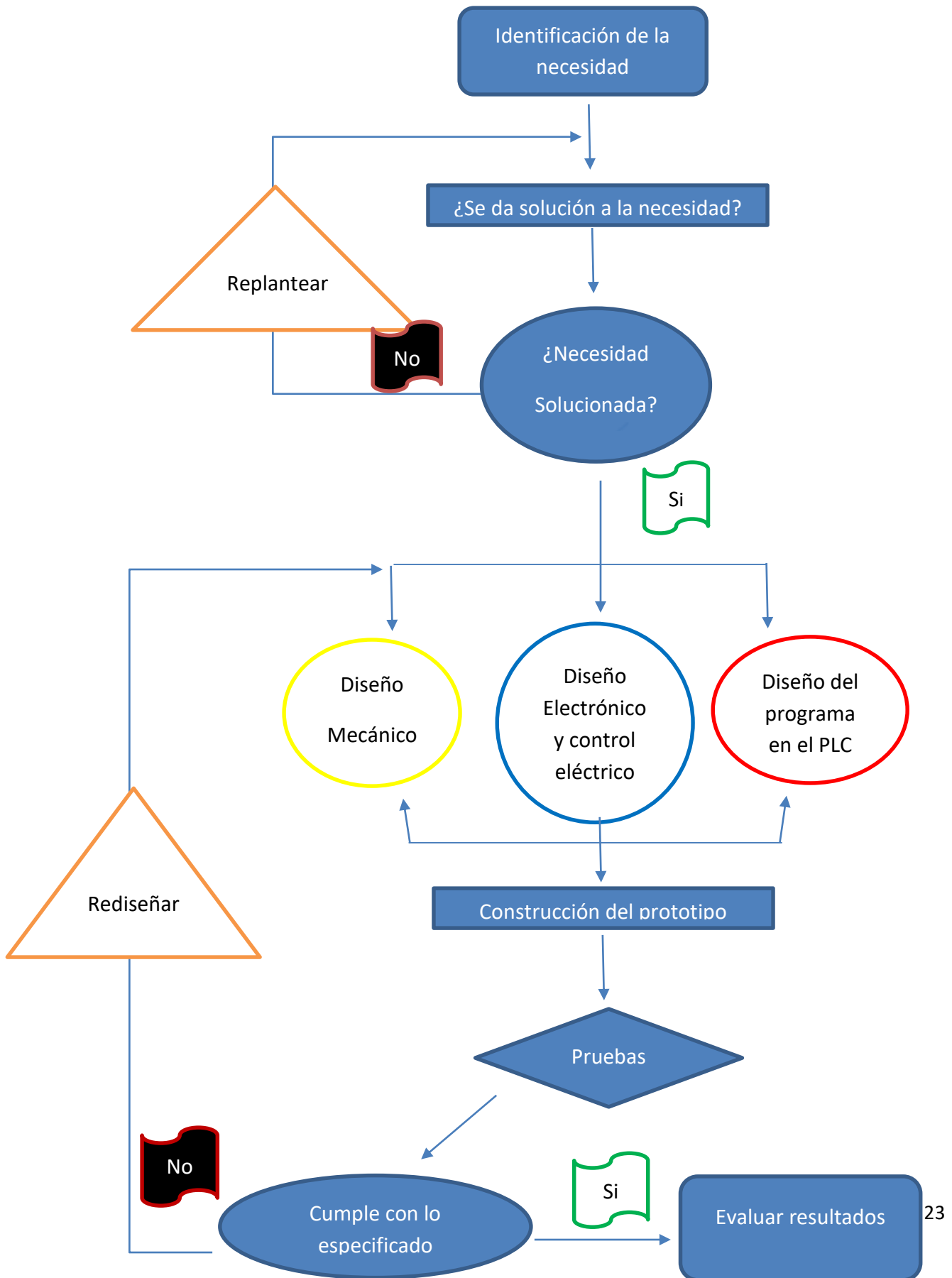
Resistencia:

Toda celda de carga tiene límites de resistencia que se establecen al momento de su fabricación, esta capacidad de resistir una carga, permite conocer su aplicación en sistemas mecánicos.

Sensibilidad:

La sensibilidad de una celda de carga varía en un conjunto de factores, pero debe tomarse en cuenta que la aleación de metales en su fabricación es por excelencia una manera de lograr mejores resultados en los procesos de medición de cargas. Lord Kelvin notó que la resistencia de un alambre aumenta con el incremento de la deformación y disminuye con el descenso de la deformación. Así que este principio ha sido desarrollado en la creación de celdas de carga con diferentes tipos de aleaciones entre ellas; la aleación karma, aleación Nichrome, platino, isoelástica, entre otros. Cada una ajustándose a diferentes estándares y necesidades.

4. METODOLOGÍA



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La necesidad surge debido a que en el laboratorio de PLC hay equipos con los cuales se puede trabajar la variable temperatura y nivel, mas no la variable de masa; entonces, se hizo un prototipo de dosificador semiautomático con el que se puede hacer un PID, trabajando con la variable de masa, y a su vez se puede utilizar entradas y salidas digitales, una entrada analógica y digital PWM, tiene como valor agregado un encoder, con el cual se puede configurar los pulsos de ancho de banda respecto a la medida másica, sin embargo su funcionalidad no se logró sintonizar por problemas con el opto acoplador que se utiliza no ayuda a generar la comunicación con las entradas digitales, de manera que el estudiante a modo experimental se le habrá mucho mejor el entendimiento, respecto a la programación y utilización de los autómatas programables, dando con esto solución a una necesidad académica.

Diseño Mecánico.

Respecto al diseño mecánico implementado en el prototipo, se hizo algo económicamente accesible para realizarlo, de manera que con el dinero invertido que fueron aproximadamente 300.000 COP se hizo un trabajo formal; con la ayuda de recursos del ITM como la cortadora laser y herramientas del laboratorio, para lo que concierne respecto al diseño mecánico, logrando llevar el producto a su máxima expresión de utilidad, desde la tolva principal, caja de conexiones, ajuste y calibración.

Diseño Electrónico.

El diseño electrónico se elaboró en el programa proteus (ver Figuras 17 y 18), se utilizó elementos que facilitaron la comunicación entre el PLC y la máquina, ya que la mayor problemática básicamente radicó en que el voltaje de operación de los elementos no superan los 9 voltios, y el autómata solo recibe las señales a 24 voltios; por otro lado, los motores demandan corrientes elevadas que pueden generar daños en las salidas Digitales, por esto, se realizó una buena estudio respecto al funcionamiento electrónico y se seleccionaron diversos elementos que resolvieron toda las dificultades.

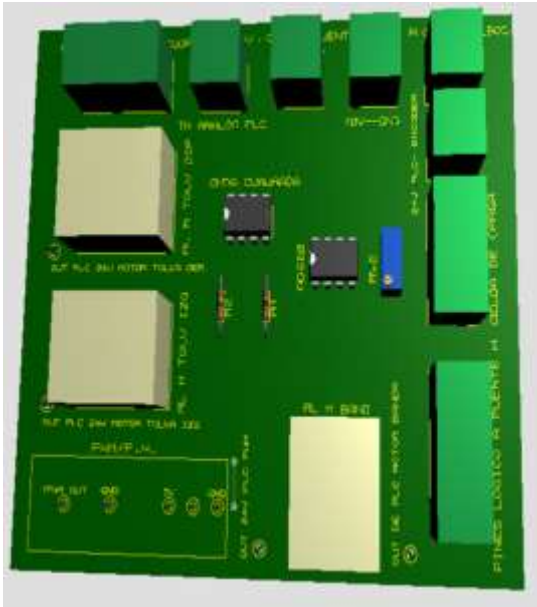


Figura 17. Tarjeta 3D proteus
Fuente: Elaboración propia

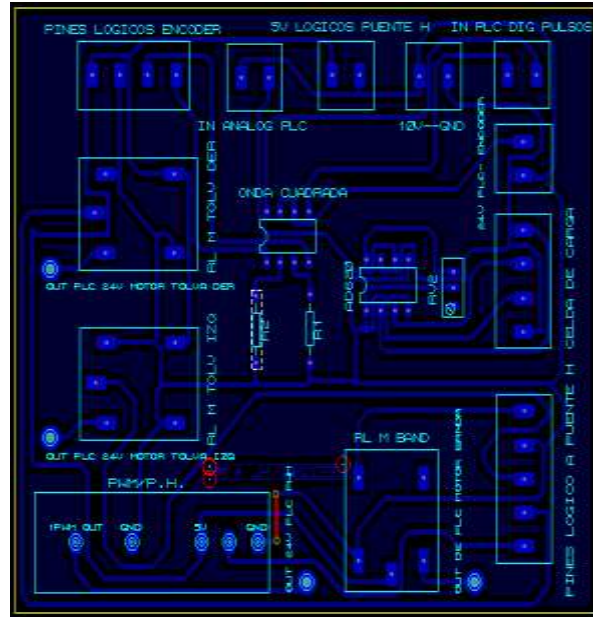


Figura 18. Layout proteus
Fuente: Elaboración propia

Los elementos que se escogieron como optima ayuda para la comunicación máquina- PLC se hizo de la siguiente manera:

Tres relés a 24 voltios, estos permiten la comunicación indirecta con las salidas digitales del PLC; por ejemplo, uno de estos únicamente es utilizado para el giro del motor de la banda transportadora, de esta manera se transporta el material de un lugar a otro. Donde los motores reductores, por medio de un puente H que manipula sus señales sirve como elemento protector de potencia; de este modo el puente H protege de una corriente producida por los bobinados del motor fuera del límite y podría dañar los módulos de salida del PLC; los otros dos relés funcionan para apertura y cierre de la tolva de medida por medio del movimiento del otro motor en un sentido y en el otro(la tolva de medida es donde cae el material y está sobre la celda de carga).

También se utiliza un relé de estado sólido para l interrupción rápida que genera el PWM que controla las rpm de la banda transportadora, un opto acoplador de ocho pines para llevar las dos señales del encoder al PLC para la relación de las rpm vs medida másica como valor agregado, de manera que haya una linealidad inversamente proporcional, con el fin

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de no limitar el proyecto si no que pueda los estudiantes tener más alternativa de programación. Y Finalmente un AD620 el cual, amplifica la señal de mili voltios a voltios para que la entrada analógica del PLC la reconozca la medida másica dentro del rango mínimo que exige el autómatas, de esta manera, se logra ser captada, con ayuda del cálculo de la ganancia G y la resistencia R_G ; cálculos que ayudan a escalizar de manera acertada la variación del voltaje respecto a la medida másica. Físicamente se puede apreciar la tarjeta y algunos otros elementos en la Figura 19.

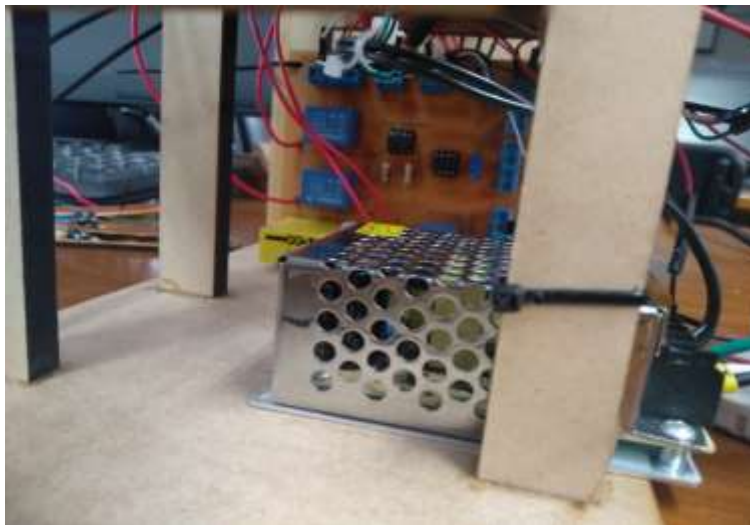


Figura 19. Tarjeta electrónica y fuente 10v.
Fuente: Elaboración propia

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se muestra el prototipo de máquina dosificadora, elaborada y apreciada desde varios perfiles, como por ejemplo en la Figura 20. En ella se muestra la caja de conexiones y la vista posterior de la tolva principal, donde comienza a introducirse el material para la dosificación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 20. Tolva principal y caja de conexiones (Parte trasera de la dosificadora)

La caja de conexiones, se muestra con claridad en la Figura 21. Donde se hace la conexión entre PLC y máquina, de manera que, respecto a la comunicación maquina-PLC, brinda una mejor accesibilidad al estudiante para que realice las conexiones, previamente demarcada para la identificación de los puntos de conexión de entradas, salidas y alimentación.



Figura 21. Caja de conexiones
Fuente: Elaboración propia

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Los Acople a la celda de carga y tolva de medición, transmisión de banda transportadora, soporte y distribución del espacio también son un aporte al Diseño mecánico vistos en la Figura 22.

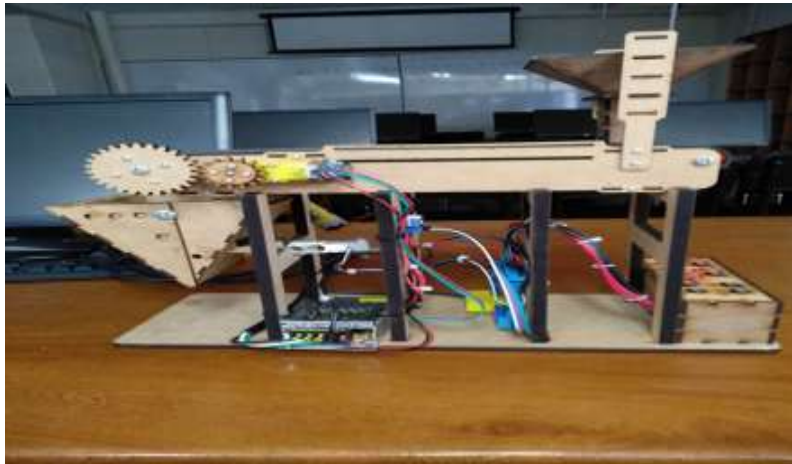


Figura 22. Maquina vista desde lado derecho
Fuente: Elaboración propia

Finalmente se aprecia la banda transportadora, la tolva de descarga, también se alcanza a ver que al lado posterior de la imagen, está el motor con acople mecánico. Con más claridad se observa el otro extremo en la Figura 23, la adaptación para la apertura y cierre de la tolva, y la adaptación de finales de carrera. Estos ayudan a que el motor gire en un sentido o en el otro, sea para abrir, cerrar y/o parar, todo según como se programe en el autómata

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 23. Maquina vista desde el lado izquierdo.
Fuente: Elaboración propia

En el programa hecho en Tiaportal, en lenguaje KOP; básicamente se inició por escalizar la celda de carga, calculando la ganancia G y la Resistencia R_G ver ecuación 2 y 3.

$$G = \frac{49.4k\Omega}{R_G} + 1 = \frac{49.4k\Omega}{80\Omega} + 1 = 618.5 \quad (2)$$

$$R_G = \frac{49.4k\Omega}{G-1} = \frac{49.4k\Omega}{618.5-1} = 80\Omega \quad (3)$$

Luego a partir de medidas realizadas previamente en la celda de carga; se introdujo distintas masas a la tolva, y masa a masa de menor a mayor se fue midiendo el voltaje entregado hasta completar 1kg. Con el fin de verificar el comportamiento de la celda de carga, analizando la medida másica, respecto a la medida en mili voltios y en voltios a través de un multímetro (ver Figura 24 y 25); Finalmente se encontró que el crecimiento se asemeja a la recta pendiente, llevando estos datos a una gráfica sacada de Excel, con la cual se utilizó como apoyo para escalizar la celda de carga, no en las ecuaciones como tal si no en pro de apoyarse en la ecuación canónica de la recta pendiente, respecto a los resultados obtenidos.

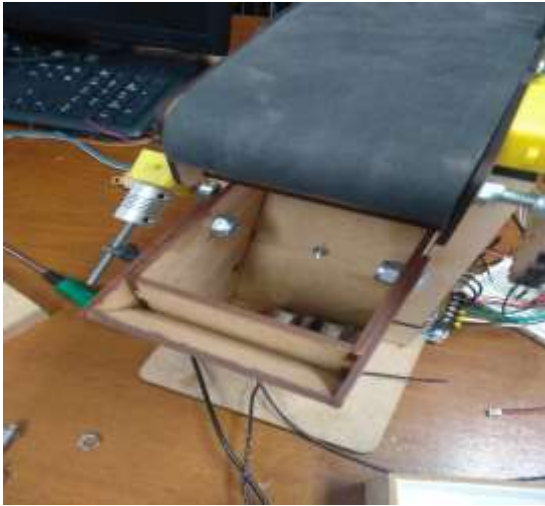


Figura 24. Peso en tolva
Fuente: Elaboración propia



Figura 25. Medida con multímetro
Fuente: Elaboración propia

Las funciones de puesta en marcha y calibración se ejecutaron a la perfección, todas desde Una Pantalla “SIMATIC HMI SIEMENS KTP 700 PN” (ver Figura 26).

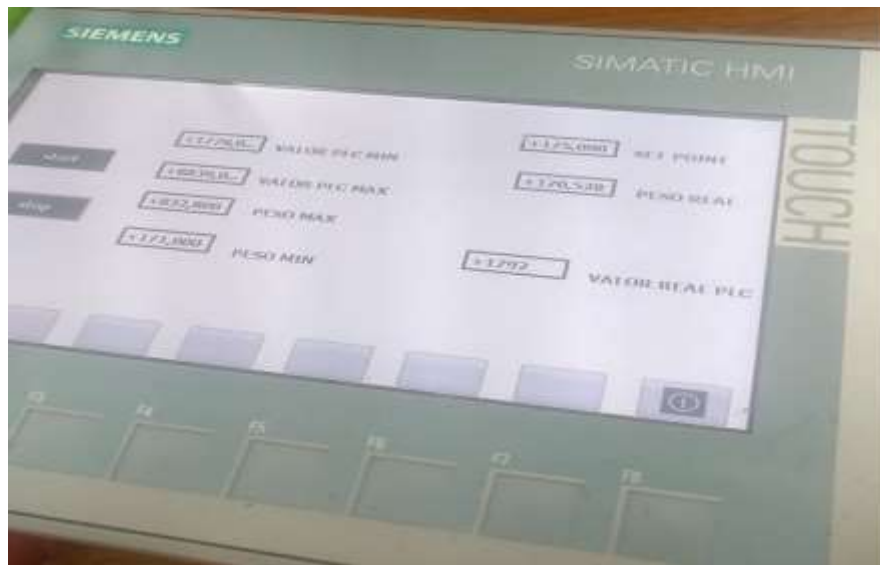


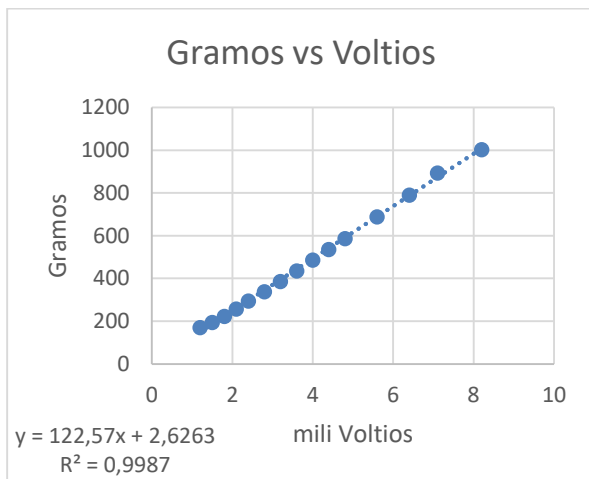
Figura 26. Pantalla
Fuente: Elaboración propia

A partir de las medidas tomadas en mili voltios y voltios en la celda de carga, con R_G previamente calculada en ochenta ohms (ver Tabla 2.).

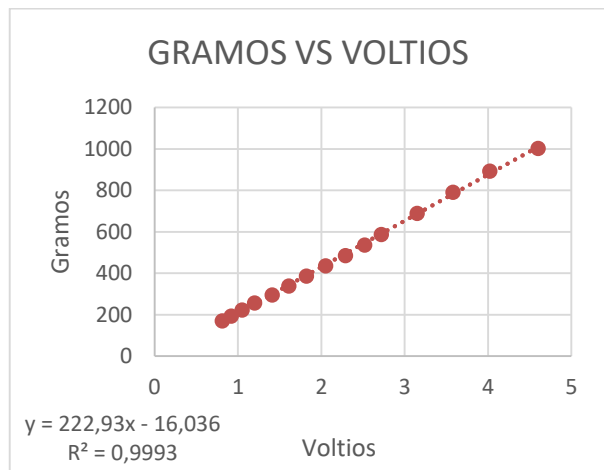
valor introducido en gramos	medida en gramos	mili voltios	voltios
Tolva Vacía	170	1,2	0,81
23,7	193,7	1,5	0,92
29,4	223,1	1,8	1,05
33,6	256,7	2,1	1,2
38,1	294,8	2,4	1,41
43,7	338,5	2,8	1,61
47,9	386,4	3,2	1,82
49,4	435,8	3,6	2,05
50	485,8	4	2,29
50,2	536	4,4	2,52
51	587	4,8	2,72
101,6	688,6	5,6	3,15
102	790,6	6,4	3,58
102,6	893,2	7,1	4,02
110	1003,2	8,2	4,6

Tabla 2. Medidas de gramos vs mili voltios y voltios

Se sacaron dos gráficas para verificar la línea de tendencia, con el fin de verificar si obedece a la recta pendiente los datos sacados, que arroje la ecuación que los representa y así verificar el R^2 , que es el que da a entender el estado del margen de error de la celda de carga. Donde la medida en mili voltios es tomada antes de que la señal pase por el amplificador AD620 (ver Grafica 1.) y la medida en voltios es después de pasar por el amplificador Instrumental, (ver Grafica 2.) es decir el voltaje amplificado.



Grafica 1. Gramos vs mili voltios
Fuente: Elaboración propia



Grafica 2. Gramos vs Voltios
Fuente: Elaboración propia

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Después de analizar las gráficas se concluye que:

La celda de carga funciona bien; de manera que el margen de error, no depende del estado de la tolva ni la posición, el R² se aproxima al 100% (este es el porcentaje de variación de la variable de respuesta que explica su relación con una o más variables).

El error está relacionado con las temperaturas, aunque los fabricantes las aíslan bien para que la galga no tenga mucha variación con respecto al cambio atmosférico puede ser una posibilidad ya que experimentalmente el dato real en la entrada IW64 tiende a variar mucho principalmente con el ambiente frío y con el ambiente cálido.

ANALISIS Y DISCUSION

A la hora de programar, se trató de escalizar bajo los bloques habituales utilizados pero en el autómata siemens 1200 “escale X” y “normal X”, no lo hizo bien; ya que al realizar las pruebas las medidas fueron inconsistentes, respecto a lo que marcaba el valor medido vs el valor real.

Pero finalmente se optó por introducir la ecuación de la recta pendiente ordinaria apoyado en una consulta encontrada en la página de siemens (SIEMENS, 2017). Y se encontró la solución con la ecuación de la recta (ver ecuación 4) y el bloque “calculate” (ver Figura 27).

$$Y = \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} \times (X - X_0) + Y_0 \quad (4)$$

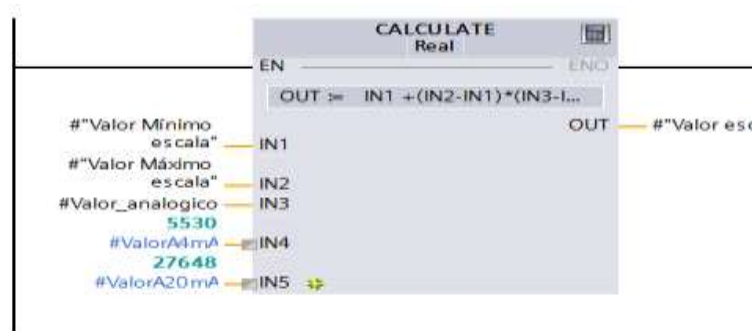


Figura 27. (Gútiez, 2016) Bloque “calculate”

Fuente: Elaboración propia

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Con esto previamente entendido se hace una relación de la recta pendiente en la ecuación 4 y el bloque “calculate” en la Figura 27. Esta relación, es el fundamento central para la guía de laboratorio, para que haya una óptima escalización y se utilice el instrumento primario de control con una mayor precisión, (ver Tabla 3).

Dónde:

$Y_1 = \text{VALOR MAXIMO PESO} = \text{VALOR PESO MAX} + \text{VALOR MIN PESO} = 832,8 + 171 = \text{IN4}$ (LA SUMA SE REALIZA EN “ADD”)	$Y_0 = \text{PESO MINIMO O PESO TOLVA} = 171 = \text{IN5}$
$X_1 = \text{DATO MAXIMO PLC} = 8839 = \text{IN3}$	$X_0 = \text{DATO MINIMO PLC} = \text{IN2} = \text{IN1}$ (SOLO CUANDO NO HAYA CARGA EN LA TOLVA)
$X = \text{DATO REAL} = \text{IW64} = \text{IN1}$	$Y = \text{VALOR CELDA DE CARGA} = \text{OUT}$

Tabla 3. Relación de variable con datos y entradas al bloque “calculate”.

Debido a la variación del dato real por razones, termo atmosféricas, se debe calibrar cada vez que se realice una medida la celda de carga $X = X_0$ (cuando la tolva este vacía), de esta manera se asegura un error dentro de 1% y 3%, y en algunos casos muy extraños varia el 10%, pero como se explicó; esto se debe al cambio repentino en el dato real a causa de las condiciones de temperatura del lugar.

6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- El producto de laboratorio logro cumplir a cabalidad, las expectativas, basadas básicamente en la variable de masa, se mida bajo un proceso semiautomático de manera precisa.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Generar un PID, con el cual se controla la velocidad de la banda por medio de una salida PWM, para que la medida tomada por el elemento primario de control muestre que se escalizó de manera acertada.
- La masa medida, es aproximadamente precisa al valor programado en el set point, con un margen de error de 1% al 3%, en algunos casos varía hasta el 10%; esto se justifica debido a las condiciones de temperatura del lugar porque el dato de la entrada análoga IW64 varía según haga frío o calor, tiene como limitación el espacio y la durabilidad de los elementos electrónicos, pero son de poco valor económico y fácilmente pueden ser remplazados, la tolva es también una limitación ya que en algunas ocasiones el producto puede quedarse pegado en la salida, todo depende del diámetro de lo que se mide, que en lo posible debe ser igual o menor del diámetro de una lenteja.
- Se sugiere la instalación de una mejor tolva principal, que genere una presión más uniforme y el producto baje con mayor fluidez.
- Respecto a la interrupción de los finales de carrera, se sugiere sustituirlos con unos de mayor tamaño ya que hubo dificultad en la adaptación, debido a bajo presupuesto.
- Instalar un riel con un recipiente, con el cual, el producto medido pueda ser recogido.
- Se recomienda, una adaptación que permita la retroalimentación del producto cuando termina su etapa productiva, es decir que sea llevado a la tolva principal y se pase de un proceso semiautomático a uno completamente automático.
- Diseñar una selladora que empaque el producto después de su etapa final, de esta manera se completa y se asemeja un proceso industrial manufacturero.

REFERENCIAS

Direct Industry. (16 de 07 de 2019). *Direct Industry*. Obtenido de Direct Industry:
<http://www.directindustry.es/prod/gandus-saldatrici/product-56815-1918042.html>

Gilmar Hernando Tuta Navajas at all, J. S. (22 de 10 de 2015). Diseño y construcción de un dosificador automatico para perros de raza media. *Diseño y construcción de un dosificador*

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

automatico para perros de raza media. Bucaramanga, Santander, Colombia: IV CONGRESO INTERNACIONAL 118 DE INGENIERÍA MECATRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN - CIIMA 2015.

Gútiez, I. (16 de 06 de 2016). *programacion siemens*. Obtenido de programacion siemens:
<https://programacionsiemens.com/escalado-de-una-senal-analogica-en-tia-portal/>


Hongyi Xiao, Y. F. (2019). Modelado continuo de la segregacion granular durante la descarga de la tolva. *Ciencia de la ingenieria quimica*, 188-204.

Ht Sensor Technology Co.,Limited. (5 de 6 de 2015). *HT SENSOR TECHNOLOGY*. Obtenido de HT SENSOR TECHNOLOGY: <http://www.htc-sensor.com/uploadfile/download/2015651211532855.pdf>

Mendoza&Quiroz. (7 de Junio de 2013). *YOU TUBE*. Obtenido de YOU TUBE:
<https://www.youtube.com/watch?v=UMhCrnqNv1c>

SIEMENS. (12 de 7 de 2017). *SUPPORT.INDUSTRIE.SIEMENS.COM*. Obtenido de SUPPORT.INDUSTRIE.SIEMENS.COM:
[https://support.industry.siemens.com/cs/document/45496282/%C2%BFc%C3%B3mo-se-realiza-en-step-7-\(tia-portal\)-el-c%C3%A1lculo-de-valores-lineales-para-la-ordinada-de-un-punto-p-?dti=0&lc=es-CO](https://support.industry.siemens.com/cs/document/45496282/%C2%BFc%C3%B3mo-se-realiza-en-step-7-(tia-portal)-el-c%C3%A1lculo-de-valores-lineales-para-la-ordinada-de-un-punto-p-?dti=0&lc=es-CO)

wikipedia. (05 de 09 de 2018). *wikipedia*. Obtenido de wikipedia:
https://es.wikipedia.org/wiki/Celda_de_carga

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES Edison Monzálve R.

FIRMA ASESOR Manuel A. Osajima A.

Se envia informe de Producto de
Laboratorio de Docencia. 11:05 am FECHA ENTREGA: 05/08/2019

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO _____ ACEPTADO _____ ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES _____

FIRMA ASESOR _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____