

AUTOMATIZACIÓN DE UNA PLANTA DE MEZCLADO DE FERTILIZANTES

PETER SÓCRATES FIERRO TOVAR
CÓD. 2002100906

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA
2009

AUTOMATIZACIÓN DE UNA PLANTA DE MEZCLADO DE FERTILIZANTES

PETER SÓCRATES FIERRO TOVAR
CÓD. 2002100906

Proyecto de grado presentado para optar
al título de Ingeniero Electrónico

Director:
AGUSTÍN SOTO OTÁLORA
Ingeniero Electrónico

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA
2009

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del primer jurado

Firma del segundo jurado

Neiva, 15 de septiembre de 2009

DEDICATORIA

A mis padres, por darme la vida, por su cariño y su ejemplo, a mi novia por estar siempre a mi lado en todo momento, a mis maestros por compartir generosamente sus conocimientos, al personal directivo y administrativo de la facultad por brindarme todas las facilidades a lo largo de estos años de formación académico y a mis compañeros de estudio por brindarme su amistad y apoyo moral.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

A Dios.

A mis padres y hermana.

A Cistina Joven y Daniela Perdomo por su amor y cariño

Al ingeniero Agustín Soto, Director de Tesis.

A los ingenieros Neizar Salazar y José Salgado jurados.

Al señor Gabriel Solano, por su paciencia y colaboración y a todos nuestros amigos y compañeros de estudio.

CONTENIDO

	pág.
0. INTRODUCCIÓN	16
1. MARCO TEORICO	17
1.1 ELEMENTOS DE UN SISTEMA NEUMÁTICO	17
1.2 SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO	17
1.3 GENERADORES	17
1.4 ACONDICIONADORES	17
1.5 ACTUADORES NEUMÁTICOS	17
1.5.1 Cilindros neumáticos.	17
1.5.2 Válvulas neumáticas	18
2. SISTEMAS MECÁNICOS INDUSTRIALES	19
2.1 ELEMENTOS DE TRANSPORTE	19
2.1.1 Transportadores de tornillo sinfín.	19
2.1.2 Elevador de cangilones.	19
2.1.3 Banda transportadora	20
2.2 MEZCLADORA	21
2.3 ELEMENTOS DE DOSIFICACIÓN	21
2.4 ELEMENTOS DE ALMACENAMIENTO	22
3. MÓDULOS ELECTRÓNICOS DE POTENCIA	23
3.1 VARIADORES DE VELOCIDAD	23
3.2 ARRANCADORES SUAVES	23
3.3 PROTECTORES TÉRMICOS	24
3.4 RELÉS DE POTENCIA Y CONTACTORES	24
4. SISTEMAS DE PESAJE	25
4.1 CELDAS DE CARGA	25
4.2 CAJA DE SUMA	25
4.3 INDICADORES DE PESAJE	26
5. SISTEMA DE CONTROL	27
6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	28
7. ESTRUCTURA Y VISIÓN GLOBAL DE LA PLANTA	30
7.1 CARGA DE MATERIA PRIMA EN LOS SILOS DE ALMACENAMIENTO	32
7.2 MEZCLADO DEL PRODUCTO.	33
7.3 EMPACADO Y SELLADO DEL PRODUCTO.	34
7.4 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA	35
8. IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	36
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA	36
8.1.1 Elevador de cangilones (elevador 1).	36

8.1.2 Tornillo sinfn (transportador).....	37
8.1.3 Compuertas neumáticas de entrada de producto en los silos mayores	38
9. SISTEMA DE MEZCLADO.....	40
9.1 SISTEMA DE MEZCLADO HELICOIDAL	40
9.2 ELEVADOR DE CANGILONES (ELEVADOR 2).....	42
9.3 SISTEMA NEUMÁTICO (APERTURA Y CIERRE DE ESCOTILLAS)	43
9.4 SISTEMA PESAJE (APERTURA DOSIFICACIÓN DE MATERIA PRIMA A MEZCLAS)	43
9.4.1 Celdas de carga del sistema de pesaje.	44
9.4.2 Caja de suma para celdas de carga.	44
9.4.3 Indicador de lectura de celdas.	45
9.5 DOSIFICACIÓN DE QUELATOS	46
10. SISTEMA DE EMPACADO.....	49
10.1 CONTROL DE LA BANDA DOSIFICADORA	49
10.2 SISTEMA NEUMÁTICO DEL SISTEMA DE EMPACADO	51
11. MONTAJE DEL TABLERO ELÉCTRICO	52
11.1 SISTEMA DE ENTRADA DE DATOS	52
11.2 SISTEMA DE SALIDA DE DATOS	53
11.3 PLANO DEL TABLERO ELÉCTRICO	53
11.4 NOMENCLATURA DEL TABLERO ELÉCTRICO	55
12. DISEÑO DEL SOFTWARE DE CONTROL	60
12.1 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	60
12.2 CONFIGURACIÓN DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS:.....	62
13. IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE	65
13.1 SISTEMA DE LLENADO	65
13.2 SISTEMA DE MEZCLADO	66
13.3 SISTEMA DE EMPACADO	67
14. ANÁLISIS DE RESULTADOS	69
15. CONCLUSIONES	71
16. RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFÍA.....	74

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Control de válvulas neumáticas	55
Cuadro 2. Sistema eléctrico de motores	55
Cuadro 3. Sistema eléctrico de control de 24 Vdc	56
Cuadro 4. Indicadores luminosos 220 V ac	57

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Cilindro neumático	18
Figura 2. Válvula neumática	18
Figura 3. Sistema de transportadores de tornillo sinfín	19
Figura 4. Sistema de transportadores elevador de cangilones	20
Figura 5. Banda transportadora	20
Figura 6. Mezcladora helicoidal	21
Figura 7. Válvula de dosificación de sólidos	21
Figura 8. Silos de almacenamiento	22
Figura 9. Variadores de velocidad	23
Figura 10. Arrancadores suaves	23
Figura 11. Protectores térmicos	24
Figura 12. Contactor trifásico	24
Figura 13. Celda de carga tipo Barra	25
Figura 14. Caja de suma para celdas de carga	26
Figura 15. Módulo para sistema de pesaje	26
Figura 16. Tarjeta de adquisición de datos	27
Figura 17. Esquema general de producción	30
Figura 18. Diagrama general de producción	31
Figura 19. Silos de almacenamiento de materia prima	32
Figura 20. Mezcladora helicoidal	33
Figura 21. Dosificadores de tornillo sinfín	33
Figura 22. Sistema de empaçado	34
Figura 23. Diagrama de bloque eléctrico del elevador 1	36
Figura 24. Elevador de cangilones 1	37
Figura 25. Diagrama de bloque eléctrico del transportador 1	37
Figura 26. Transportador de tornillo sinfín	38
Figura 27. Sistema neumático de los silos de almacenamiento	38
Figura 28. Conexión eléctrica de las válvulas electro neumáticas	39
Figura 29. Estructura de un sistema helicoidal	40
Figura 30. Motor de la mezcladora	40
Figura 31. Arrancador suave de la mezcladora	41
Figura 32. Conexión eléctrica de la mezcladora	42
Figura 33. Elevador de cangilones 2	42
Figura 34. Salidas de las tolvas de almacenamiento	43
Figura 35. Celda de carga tipo barra del sistema de pesaje de la mezcladora	44

Figura 36. Caja de suma del sistema de pesaje (mezcladora)	44
Figura 37. Indicador del sistema de pesaje de la mezcladora	45
Figura 38. Diagrama de conexión del indicador de peso	45
Figura 39. Conexión de la celda de carga al indicador de peso	46
Figura 40. Conexión de datos del indicador de peso	46
Figura 41. Dosificadores de quelatos	47
Figura 42. Breaker, Relevos de 8 pines	47
Figura 43. Variador de velocidad Siemens	49
Figura 44. Bornes de conexión del variador Micromaster 420	50
Figura 45. Conexión eléctrica del variador de velocidad	51
Figura 46. Circuito optoacoplador de señales de entrada.	52
Figura 47. Circuito de salida en base a relevos	53
Figura 48. Tablero de potencia	54
Figura 49. Tablero de control con voltaje de 24 V dc	54
Figura 50. Conexión eléctrica de motores trifásicos	58
Figura 51. Conexión eléctrica de motores monofásicos	58
Figura 52. Circuito eléctrico del arrancador y el variador de velocidad	59
Figura 53. Tarjeta PCI 6509	60
Figura 54. Distribución de los puertos de la tarjeta PCI 6509	61
Figura 55. Diagrama de conexión de la tarjeta de control.	61
Figura 56. Bornes de conexión	62
Figura 57. Bus de datos de la tarjeta de control	62
Figura 58. Pantallazo principal de Measurement Studio	63
Figura 59. Configuración de los puertos de la tarjeta de control	63
Figura 60. Prueba de salida de datos de la tarjeta.	63
Figura 61. Prueba de entrada de datos de la tarjeta.....	64
Figura 62. Pantallazo del sistema de llenado.	65
Figura 63. Pantallazo del sistema de mezclado	66
Figura 64. Pantallazo del sistema de empacado	67

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Circuito impreso de la etapa de relevos a 12V dc.....	75
ANEXO B. Circuito impreso de la etapa de control.....	76
ANEXO C. Parámetros de configuración del variador de velocidad Micromaster 420.....	77
ANEXO D. Parámetros de configuración del módulo de pesaje SE700.....	77

GLOSARIO

BREAKER: es un interruptor eléctrico utilizado para desviar o interrumpir el curso de una corriente eléctrica, su traducción esta dado por “Protector de circuitos para evitar cortocircuitos”.

ELECTRONEUMÁTICA: es la implementación de la energía eléctrica en la energía neumática, como elemento natural para la generación y transmisión de señales de control que se ubican en los sistemas de mandos.

SILOS: es una estructura diseñada para almacenar grano y otros materiales a granel; son parte integrante del ciclo de acopio de la agricultura

CONTACTOR TRIFÁSICO: elemento conductor que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se energice la bobina

ESTIBAR: guardar ordenadamente cosas sueltas para que ocupen el menor espacio posible, compensando los pesos en la carga, así como asegurando su amarre.

HELICOIDAL: una hélice, en geometría, que recibe toda línea curva cuyas tangentes forman un ángulo constante (), siguiendo una dirección fija en el espacio.

CANGILÓN: recipiente encargado del transporte de material, fabricado en acero inoxidable al carbono o plástico como nylon, polietileno o uretano .

CONTROLADORES DE PAR: es el control que implementa como la variable principal la fuerza que es capaz de ejercer un motor en cada giro. El giro de un motor tiene dos características: el par motor y la velocidad de giro. Por combinación de estas dos se obtiene la potencia.

QUELATOS: los quelatos son complejos formados por la unión de un metal y un compuesto que contiene dos o más ligandos potenciales. El proceso de formación del quelato se conoce como quelatación o quelación.

BORNE: borne es el nombre dado en electricidad a cada uno de los terminales de metal en que suelen terminar algunas máquinas y aparatos eléctricos, y que se emplean para su conexión a los hilos conductores.

PASO EN SISTEMA DE CADENAS: el paso es la distancia entre los centros de pernos contiguos. En el sistema americano, los pasos más comunes los refieren como paso 40, 50, 60, 80, y equivalen a 1/2", 5/8", 3/4" y 1" entre centros, respectivamente.

BACH: es un proceso que se realiza por bloques de manera secuencial y automática.

RESUMEN

El mundo actual exige a las empresas ser dinámicas y cambiantes. Cada vez la industria busca más la optimización de los recursos tanto humanos como materiales para lograr ser más productivas y competitivas. Controlar y automatizar sus recursos se convierte en una necesidad para tal fin. La mejora de las tecnologías en los procesos industriales, permiten hoy en día, una introducción más rápida y eficiente de los sistemas de control, calidad y gestión.

Con este proyecto de grado se pretende dar solución a los procesos de elaboración de fertilizantes que se realizan de manera manual en la comercializadora S & F. Se diseñó un sistema de mezclado y empaquetado de fertilizantes, elaborando mezclas homogéneas de alta calidad y con los requerimientos exigidos por el agricultor para lograr optimizar los resultados de sus cosechas.

Este documento evidencia el desarrollo de las diferentes etapas en la producción de la planta de fertilizantes como también los diferentes sistemas implementados en el control del proceso tales como: sistema de pesaje, sistema de control eléctrico, manejo de variadores de velocidad, sistemas neumáticos, entre otros; para tal fin este proyecto se ha dividido en 16 capítulos, que se describen a continuación.

En el capítulo 1, se hace una breve introducción de los diferentes sistemas implementados en la automatización industrial y de la importancia de aplicar la tecnología en la industria.

En los capítulos 2 al 6, se evidencian los diferentes sistemas para la automatización del proceso, tales como: sistema de transporte, sistema neumático, sistema eléctrico, sistema de control de peso, etc.

En el capítulo 7, se describe una visión general de la planta de fertilizantes y sus diferentes procesos a implementar.

En los capítulos 8 al 13, se desarrolla el sistema implementado para la automatización de la planta de fertilizantes.

ABSTRACT

Today's world requires companies to be dynamic and changing. Every time Industry increasingly seeks the optimization of both human and material resources to make them more productive and competitive. Control and automate their resources becomes a necessity for this purpose. Improved technologies in industrial processes nowadays allow a more rapid and efficient introduction of control systems, quality and management.

This degree project is intended to give solution to the processes of manufacture of fertilizers that are made by hand in the marketer S & F. A system was designed for mixing and packing of fertilizers, producing high quality blends homogenized the requirements demanded by the farmer to achieve the best results from their crops.

This document shows the development of different stages in the fertilizer plant production as the different systems implemented in the process control such as: Weighing system, electrical control system, handling of variable speed drives, pneumatic system, among others; for this purpose this project has been divided into 16 chapters, which are described below.

In Chapter 1, there is a brief introduction of the different systems implemented in industrial automation and the importance of technology in the industry.

In Chapters 2 to 6, it is showed the different systems for process automation, such as transport system, pneumatic system, electrical system, weight control, etc.

In Chapter 7, it is described an overview of the fertilizer plant and its different processes to implement.

In chapters 8 to 13, it is developed the system implemented for the automation of the fertilizer plant.

0. INTRODUCCIÓN

En toda la región Surcolombiana, la actividad económica predominante es la agrícola y con ella adquieren gran importancia las actividades agroindustriales, encargadas de procesar o transformar la materia prima necesaria para obtener productos de alta calidad y garantizar la sostenibilidad de la actividad, utilizando correctamente los distintos medios de producción y, muy especialmente, los fertilizantes, como única vía para asegurar la productividad y calidad de los cultivos, conservar la fertilidad del suelo, impedir su degradación y evitar cultivar una superficie mucho mayor que la actual para poder alimentar a la creciente población, lo que iría en deterioro de los hábitats naturales aún no explotados y supondría un incremento de los precios de los productos agrícolas.

Cuando se tiene un método manual para hacer fertilizantes, el proceso frecuentemente depende de la destreza del personal. Si se desea mayor productividad, se tiene que emplear más personal para lograrlo, lo que reduce la eficiencia de todo el proceso. La solución manual resulta más costosa a largo plazo que una automatización completa o gradual del proceso.

El uso de sistemas automatizados en los procesos de elaboración de fertilizantes permite superar las insuficiencias que se presentan en los diferentes factores que, unidos al rendimiento de una planta de este tipo como son el pesaje, la dosificación y la mezcla, se logran obtener fertilizantes de alta calidad como también una mejora en la producción que satisfaga las necesidades de los agricultores en el Huila.

Debido a esto la empresa comercializadora S & F ubicada en la Carrera 5 Sur No 16 – 04, Zona Industrial de la ciudad de Neiva automatizó sus procesos en la elaboración de fertilizantes para los cultivadores de arroz, implementando sistemas de mezclados exactos, sistemas de pesaje, sistemas de dosificación, entre otros, logrando satisfacer las necesidades de los cultivadores de arroz especialmente, ya que se logra obtener mezclas con mayor exactitud requeridas por el cultivador y a su vez, mejorar la producción en un 300%.

1. MARCO TEORICO

1.1 ELEMENTOS DE UN SISTEMA NEUMÁTICO

Los elementos de un sistema neumático están relacionados con la generación, adecuación e implementación de movimiento mecánicos, utilizando como fuente de energía aire a presión.

Entre los diferentes sistemas neumáticos que se emplean en la adecuación e implementación de proyectos se tiene:

1.2 SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Para la adecuación y suministro de aire comprimido es necesario la instalación de generadores de presión de aire como a su vez acondicionadores del fluido comprimido para evitar posibles fallas en los circuitos neumáticos.

1.3 GENERADORES

Los generadores más utilizados en la industria neumática son los llamados compresores, los cuales aumentan la presión del aire a valores de trabajo requeridos por el sistema neumático. Este sistema es el que suministra y alimenta los mecanismos actuadores y de mando para realizar el control del mismo.

1.4 ACONDICIONADORES

Los acondicionadores son sistemas de purificación del aire comprimido almacenado en los compresores. Estos sistemas son los encargados de eliminar impurezas como lo son agua, aceite, polvo y suciedad, que pueden causar efectos indeseados en los equipos a implementar.

1.5 ACTUADORES NEUMÁTICOS

Los actuadores neumáticos son los encargados de convertir la energía del aire comprimido en trabajo mecánico. Entre los principales actuadores neumáticos implementados en la industria se encuentran los cilindros neumáticos.

1.5.1 Cilindros neumáticos. Los cilindros neumáticos convierten la energía neumática en movimiento mecánico para realizar algún tipo de trabajo. Estos dispositivos realizan movimientos rectilíneos debido al avance o retroceso de un vástago.

Figura 1. Cilindro neumático



Fuente: www.festo.com

Existen dos tipos de cilindros neumáticos: de simple y de doble efecto. Los primeros, realizan el esfuerzo activo en un solo sentido y su retorno depende de un muelle o membrana que devuelve el émbolo a su posición inicial; mientras que los de doble efecto , actúan de modo activo en los dos sentidos.

1.5.2 Válvulas neumáticas. Son elementos que controlan y regulan la puesta en marcha, la detención, la dirección, la presión o el caudal del fluido enviado por el compresor o almacenado en un depósito.

Figura 2. Válvula neumática



Fuente: www.festo.com

La válvula automática de control constituye el último elemento en un lazo instalado en la línea de proceso y se comporta como un orificio cuya sección de paso varía continuamente con la finalidad de controlar un caudal en una forma determinada.

2. SISTEMAS MECÁNICOS INDUSTRIALES

Este tipo de sistema consiste en un conjunto de elementos relacionados de forma dinámica, que permiten producir, transmitir, regular o modificar movimiento .

2.1 ELEMENTOS DE TRANSPORTE

2.1.1 Transportadores de tornillo sinfín. Los transportadores de tornillo sinfín son sistemas capaces de mover materiales a granel, prácticamente en cualquier dirección, proporcionando variedad de opciones para su manejo de manera eficaz y confiable.

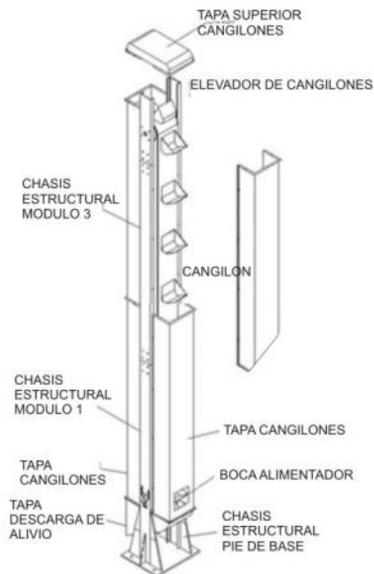
Figura 3. Sistema de transportadores de tornillo sinfín



Fuente: Wikipedia, enciclopedia libre.

2.1.2 Elevador de cangilones. Es una estructura mecánica que consta de una cinta o cadena motora accionada por una polea tipo tambor, a la cual van fijadas un determinado número de cangilones, los cuales son baldes que pueden tener distintas formas y dimensiones construidos en acero, aluminio o plástico. Este mecanismo se emplea para mover material a granel verticalmente como lo son granos, semillas, fertilizantes, etc.

Figura 4. Sistema de transportadores elevador de cangilones



Fuente: <http://www.aguilaascensores.com>

2.1.3 Banda transportadora. Una banda transportadora es un sistema implementado para transporte continuo de material y está formada por una cinta que se mueve continuamente entre dos tambores que giran libremente.

Figura 5. Banda transportadora



Fuente: <http://www.CintasTransportadoras.com.es>

Uno de los dos tambores arrastra mediante fricción a la banda y es accionado a través de un motor. El otro tambor suele girar libre, sin ningún tipo de accionamiento, y su función es servir de retorno a la banda. Debido al movimiento de la banda, el material depositado

sobre ella es transportado hacia el tambor de accionamiento donde gira y da la vuelta en sentido contrario.

2.2 MEZCLADORA

Una mezcladora es una máquina electromecánica que produce una homogenización de algún material específico, ya que en su interior contiene varias aspas que proporcionan un recorrido constante que permite desplazar al material por todo el recipiente obteniendo una combinación de productos de manera homogénea.

Figura 6. Mezcladora helicoidal



Fuente: <http://www.bepex.com>

2.3 ELEMENTOS DE DOSIFICACIÓN

Un dosificador de sólidos es un sistema electromecánico que entrega una proporción dada de un material dependiendo del pesaje del mismo, con la finalidad de mezclarlo con otros componentes para constituir una mezcla en particular.

Figura 7. Válvula de dosificación de sólidos



Fuente: <http://www.vorkauf.es>

2.4 ELEMENTOS DE ALMACENAMIENTO

Un silo es una estructura diseñada para almacenar grano y otros materiales a granel; son parte integrante del ciclo de acopio de la agricultura. Los más habituales tienen forma cilíndrica, asemejándose a una torre, construida de madera, hormigón armado o metal

Figura 8. Silos de almacenamiento



Fuente: <http://www.agroterra.com>

3. MÓDULOS ELECTRÓNICOS DE POTENCIA

3.1 VARIADORES DE VELOCIDAD

Los variadores son convertidores de energía encargados de modular la energía que recibe el motor permitiendo variar la velocidad convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables.

Figura 9. Variadores de velocidad



Fuente: <http://www.siemens.com>

3.2 ARRANCADORES SUAVES

¹El arrancador suave es un arrancador estático que permite arrancar suavemente un motor de inducción asíncrono de rotor en cortocircuito, aumentándole progresivamente la tensión desde cero voltios hasta la tensión nominal; es decir, un control sobre la tensión durante el tiempo que dura el arranque.

Figura 10. Arrancadores suaves



Fuente: <http://www.weg.net/es>

¹PULIDO, Manual Alvares. Convertidores de frecuencia, controladores de motores y SSR. Marcombo, 2000. p. 113

Los sistemas de arranque clásicos de motores eléctricos tienen el inconveniente de tomar valores de intensidad mayores a la nominal, indicada en la placa de características del motor.

El arranque ideal es aquel en que la intensidad tome el valor justo, siendo capaz, con este valor, de arrancar el motor venciendo el par resistente de la maquina accionada, obteniendo con ello pequeñas caídas de tensión en las líneas que van desde los transformadores hasta los motores.

3.3 PROTECTORES TÉRMICOS

Un guardamotor es un disyuntor magneto-térmico, especialmente diseñado para la protección de motores eléctricos. Este diseño especial proporciona al dispositivo una curva de disparo que lo hace más robusto frente a las sobreintensidades transitorias típicas de los arranques de los motores. El disparo magnético es equivalente al de otros interruptores automáticos pero el disparo térmico se produce con una intensidad y tiempo mayores.

Figura 11. Protectores térmicos



Fuente: <http://www.telemecanique.com>

3.4 RELÉS DE POTENCIA Y CONTACTORES

Los contactores y relevos de potencia son elementos conductores que tienen por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se energice la bobina (en el caso de ser contactores instantáneos). Un contactor es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación, con la posibilidad de ser accionado a distancia, que tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable, cuando actúa dicha acción. Este tipo de funcionamiento se llama de "todo o nada".

Figura 12. Contactor trifásico



Fuente: <http://www.telemecanique.com>

4. SISTEMAS DE PESAJE

4.1 CELDAS DE CARGA

²El principio básico de una celda de carga está basado en el funcionamiento de cuatro galgas extensiométricas (strain gauge), dispuestos en una configuración especial.

Se parte de la hipótesis inicial de que el sensor experimenta las mismas deformaciones que la superficie sobre la cual está pegada. El sensor está constituido básicamente por una base muy delgada no conductora, sobre la cual va adherido un hilo metálico muy fino, de forma que la mayor parte de su longitud está distribuido paralelamente a una dirección determinada.

Figura 13. Celda de carga tipo Barra



Fuente: <http://www.lasbasculas.com>

La resistencia eléctrica del hilo es directamente proporcional a su longitud, o lo que es lo mismo, su resistencia aumenta cuando éste se alarga.

De este modo las deformaciones que se producen en el objeto, en el cual está adherida la galga, provocan una variación de la longitud y, por consiguiente, una variación de la resistencia.

4.2 CAJA DE SUMA

³Todas balanzas full-electrónicas con más de una celda de carga, cuentan con cajas que poseen placas electrónicas de "suma y ecualización" de celdas de carga.

"suma": porque a esta placa convergen las señales de cada una celda de carga, saliendo hacia el indicador digital un cable con la suma de dichas señales .

² <http://www.forosdeelectronica.com/f16/load-cell-celdas-carga-principios-basicos-26/>

³ http://www.proz.com/kudoz/spanish_to_english/computers:_systems_networks/1928178_caja_de_suma.html

"ecualización": porque posee potenciómetros que permiten el ajuste de la señal de cada una de las celdas en forma individual, permitiendo un correcto ajuste de la excentricidad del receptor de carga.

Figura 14. Caja de suma para celdas de carga



Fuente: <http://www.lasbasculas.com>

El conexionado de los cables se realiza por medio de borneras de primera calidad. La caja que contiene a las placas de suma y ecualización es de acero inoxidable (para ciertas aplicaciones puede ser de plástico de alta resistencia o fundición de aluminio) y está herméticamente sellada, para prevenir el ingreso de humedad. El cableado ingresa a la caja por medio de prensacables estancos o racords (para cables enfundados en manguera cristal).

4.3 INDICADORES DE PESAJE

Los indicadores de pesajes son sistemas que reciben la lectura de una celda de carga o de una caja de sumas para ser visualizadas en una pantalla y tener la posibilidad de configurar los parámetros de pesaje para luego transmitirlos a un sistema centralizado como un computador, PLC, etc. Estas funciones dependen del indicador en particular.

Figura 15. Módulo para sistema de pesaje



Fuente: <http://www.lasbasculas.com>

5. SISTEMA DE CONTROL

TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

⁴La adquisición de datos, consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador (sistema digital). Consiste en tomar un conjunto de variables físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora o PAC. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es el módulo o tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ).

Figura 16. Tarjeta de adquisición de datos



Fuente: <http://www.ni.com>

⁴ <http://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20090808110442AAgdOzk>

6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para la empresa Comercializadora S&F es una necesidad automatizar el proceso de mezclado de fertilizantes especialmente del arroz, debido a que maneja aproximadamente el 60% de los cultivos de éste en el departamento del Huila, al igual que se prepara para iniciar una nueva marca de fertilizante que busca satisfacer las necesidades del cultivador.

Actualmente el proceso de mezclado se lleva a cabo de forma manual, es decir las cantidades de mezcla para el fertilizante requerido en cada terreno se aplican después de un estudio de suelos que arroja el porcentaje de cada fertilizante a mezclar; de forma separada es llevado por el agricultor que mediante la pala dosifica la mezcla, este procedimiento resulta inadecuado ya que se puede llegar a aplicar concentraciones diferentes a las especificadas y mezclas no homogéneas. Por tal motivo, se desarrolló un sistema de automatización de una planta de mezclado de fertilizantes, con un proceso altamente confiable que permita mantener estándares de calidad exigidos.

La comercializadora S&F solicitó la automatización y control total del proceso, el cual cuenta con 6 silos de almacenamiento primarios de 15 toneladas los cuales contienen los fertilizantes mayores; es decir, los de mayor concentración dentro de la mezcla del abono. Los silos se encuentran a una determinada altura del suelo y serán cargados mediante un elevador tipo vaso, distribuyendo el producto a cada silo por medio de un tornillo sin fin y escotillas neumáticas que permitirán la entrada del producto a cada silo.

De acuerdo a la necesidad planteada por la comercializadora, el diseño se realizó con el fin de cumplir los siguientes propósitos:

- Realizar la mezcla del fertilizante de forma exacta, acorde a las necesidades del cultivador obteniendo abonos de alta calidad.
- Implementar circuitos de acondicionamiento de señales para acoplarlos a la tarjeta de control.
- Obtener una conexión del lenguaje de .net con el software de LABVIEW para la implementación de la tarjeta de adquisición de datos.
- Implementar dos sistemas de pesaje los cuales constaran de cuatro celdas de carga (un solo punto de apoyo) con su respectiva caja de suma y transductor con salida de datos serial con el protocolo RS232.
- Controlar aproximadamente 25 gatos neumáticos de cierre o apertura mediante pulsos eléctricos enviados desde el computador de control.

- Desarrollar el control de velocidad de dos motores AC mediante un sistema de variadores de velocidad y la interface para el control desde un computador requerido en el sistema de ensacado.
- Obtener un proceso automático o manual de todos los actuadores dispuestos en la planta, desde un computador.

7. ESTRUCTURA Y VISIÓN GLOBAL DE LA PLANTA

La planta de mezcla de fertilizantes actualmente cuenta con tres etapas en el proceso de la producción de abonos como se muestra en la Figura 17. Cada etapa está constituida por componentes mecánicos, neumáticos y eléctricos, las etapas de producción de la plantas son:

- Carga de materia prima en los silos de almacenamiento .
- Mezclado del producto.
- Empacado y sellado del producto terminado.

Figura 17. Esquema general de producción



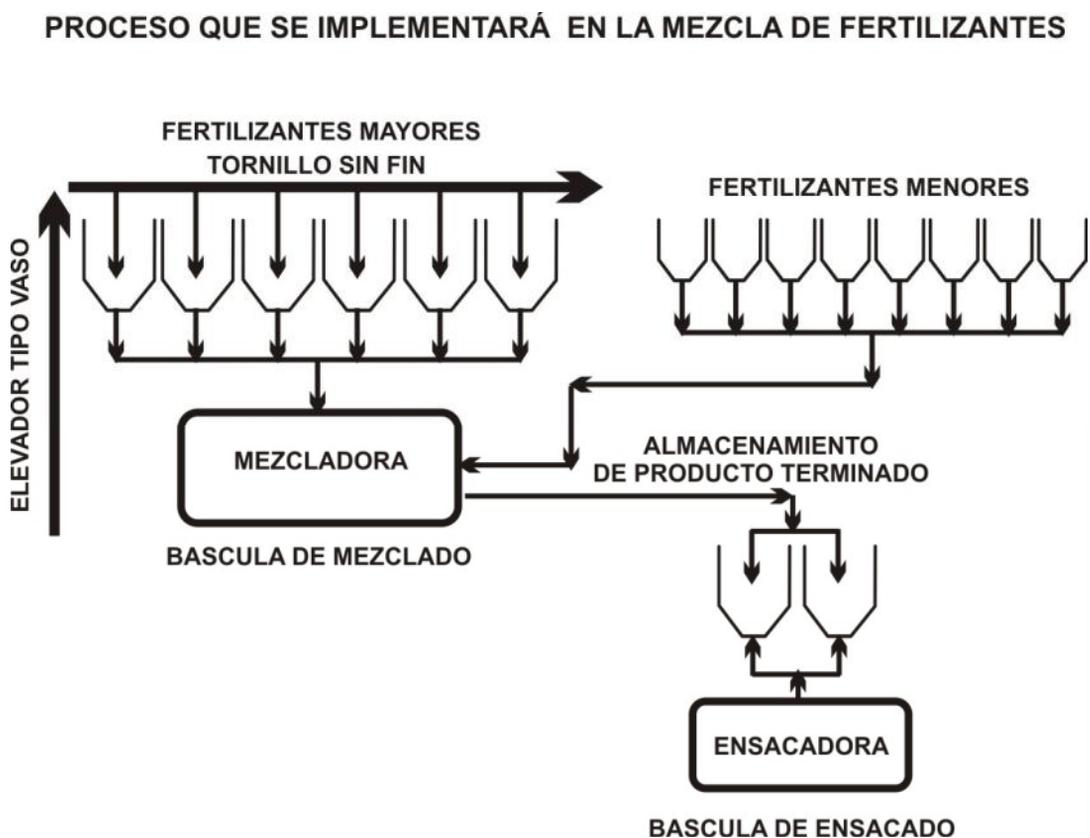
La carga de materia prima es el proceso mediante el cual se prepara toda la materia prima en los silos de almacenamiento para ser procesada y posteriormente realizar los abonos requeridos por el cultivador.

El sistema de mezclado es el proceso para producir el abono requerido por el cliente, debe de cumplir con las características de un estudio de suelo previamente realizado , para obtener mezclas de fertilizantes homogenizadas y con los requerimientos del cliente.

El proceso de empacado del producto ya mezclado, es ensacado generalmente en bultos de 50 kilogramos o según los requerimientos del cliente .

La siguiente Figura ilustra un diagrama general del sistema de producción de la planta en la cual se observan los seis silos de almacenamiento de materia prima, la etapa de mezclado como también la etapa de empacado.

Figura 18. Diagrama general de producción



En los capítulos siguientes se explicara de forma detallada cada etapa del proceso mencionando las estructuras mecánicas, los sistemas neumáticos y parte electrónica.

7.1 CARGA DE MATERIA PRIMA EN LOS SILOS DE ALMACENAMIENTO

La materia prima para la elaboración del fertilizante se puede clasificar en dos tipos:

Productos de tipo mayores, los cuales son abonos inorgánicos que se agregan en mayor proporción debido a las propiedades que tienen tales como la urea, el kcl, etc.

Productos de tipos menores o quelatos, llamados de esta manera por la menor concentración requerida en la mezcla del abono debido a su alta concentración.

La planta se ha diseñado con 14 silos de almacenamiento los cuales están repartidos de la siguiente manera:

Seis silos de almacenamiento primario de 15 toneladas cada uno para almacenar los productos de mayor proporción (productos mayores) en la mezcla.

Ocho silos pequeños de 50 kilos de capacidad cada uno para almacenar los productos menores.

La carga de los silos de quelatos se realiza de forma manual. Un operario de la planta almacena las cantidades requeridas para la producción en cada uno de éstos; por otro lado, para los silos mayores, un operario lleva mediante un montacargas las estibas de productos mayores y los deposita en una tolva de cargue y mediante un elevador de cangilones son llevados a una altura de aproximadamente 15 metros para ser descargados en un transportador horizontal tipo tornillo sinfín que distribuye la materia prima hacia las tolvas de almacenamiento.

Figura 19. Silos de almacenamiento de materia prima



7.2 MEZCLADO DEL PRODUCTO.

Para realizar la mezcla se requiere que cada silo de almacenamiento contenga el producto o materia prima. Cuando se da la orden de mezclado, cada silo de almacenamiento mayor tiene en la parte inferior una compuerta de acción neumática donde deja salir el producto para ser depositado en una mezcladora tipo helicoidal en la cual se homogenizará el fertilizante para realizar mezclas de alta calidad.

Figura 20. Mezcladora helicoidal



La dosificación de los productos menores se realiza mediante el control de encendido y apagado de ocho tornillos sinfín que arrastran los productos por una pendiente de 45 grados y una distancia de dos metros. Cada tornillo sinfín es calibrado para que en un determinado tiempo arroje a la mezcladora las cantidades exactas requeridas. Cuando el proceso de mezclado se inicia, cada tornillo sinfín es activado por el tiempo necesario para que arrastre las cantidades exactas de materia prima.

Figura 21. Dosificadores de tornillo sinfín



En el software de control implementado, se decide cuánto tiempo de mezclado se necesita para lograr una mezcla homogenizada. Cuando el tiempo de mezclado ha finalizado en la parte inferior de la mezcladora una compuerta evacúa el producto para ser llevado a través de un elevador de cangilones hasta uno de los silos de almacenamiento de producto terminado.

7.3 EMPACADO Y SELLADO DEL PRODUCTO.

Luego de que la mezcla se realiza y se almacena en los silos de empacado, se realiza el siguiente proceso:

La salida de los dos silos de almacenamiento de producto terminado llega a una banda dosificadora controlada mediante un variador de velocidad que regula el giro o velocidad de dicha banda. Cuando se quiere empacar el producto de un silo, se abre la compuerta de almacenamiento y el producto es transportado mediante ésta banda a un sistema de báscula de pesaje, la cual transmite su valor al computador para el control de la velocidad de la banda dosificadora.

Figura 22. Sistema de empacado



Cuando el producto en la báscula de ensacado llega al peso requerido, la banda dosificadora es detenida.

Al llegar al peso deseado, el operador oprime un interruptor que da la orden de abrir las compuertas de salida de la báscula dosificadora y de esta manera cae el producto directamente al saco de empacado que previamente ha sido sujetado mediante dos gatos neumáticos.

Para finalizar, el bulto ya cocido es llevado sobre una banda transportadora para ser recibido por un trabajador y ser estivado en cantidades de 32 bultos para luego ser almacenado en la bodega.

7.4 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA

La planta con el sistema autónomo y controlado desde una estación de mando está en capacidad de mezclar baches de 1000 kilogramos cada 3 minutos y almacenarlos en los silos de empacado, a su vez el sistema es capaz de empacar 6 bultos de 50 kilogramos por minuto con un margen de error del 0,5%.

Este sistema tiene la capacidad de entregar en un turno de 8 horas un promedio de 3000 bultos con 4 operarios logrando aumentar la producción en un 300%.

8. IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Para este proyecto se realizó un estudio detallado de los diferentes sistemas que se implementarían para obtener una automatización de todo el proceso tanto de llenado como de mezclado y empaclado de fertilizantes.

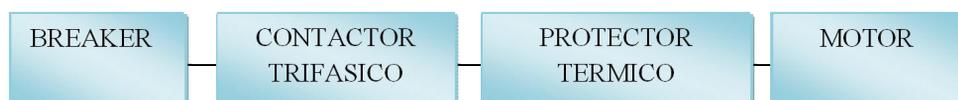
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA

El proceso de almacenamiento cuenta con dos sistemas de transporte: el sistema de elevador de cangilones y el sistema de transporte de tornillo sinfín.

8.1.1 Elevador de cangilones (elevador 1). El sistema de llenado cuenta con un motor de 6 Hp con conexión a 440 Vac. Este motor es el encargado del movimiento ascendente del material mediante el elevador 1 de cangilones. La corriente nominal del motor es de 6 A y proporciona un torque elevado debido al acople de su caja reductora con una relación de 35000 RPM en la entrada y una salida de 250 RPM. Este acople se realizó con engranaje de tipo piñón interconectado con cadena de paso 60.

La conexión eléctrica para el motor del elevador de cangilones 1 se realizó con cable siete hilos calibre 12, el cual soporta una corriente máxima de 25 Amperios. La estructura del sistema está representada a través del siguiente esquema.

Figura 23. Diagrama de bloque eléctrico del elevador 1



El encendido y apagado de este elevador se puede realizar desde dos puntos diferentes ubicados en la parte superior e inferior de éste, a través de pulsadores. Dicho proceso también se puede realizar de forma automática en el sistema implementado en la unidad central de procesamiento. La siguiente Figura ilustra el elevador 1 con su respectivo acople de motor y sistema de conexión eléctrica.

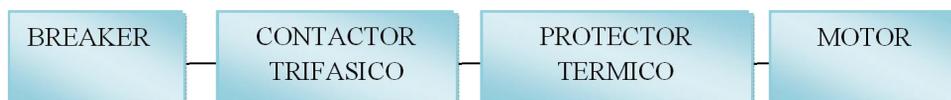
Figura 24. Elevador de cangilones 1



8.1.2 Tornillo sinfín (transportador). El sistema de transporte horizontal se implementó con un motor de 5Hp con conexión de 440 Vac , el cual está acoplado a un tornillo sinfín de 6 metros de longitud por 10 pulgadas de diámetro. El motor tiene una caja reductora, con entrada de 35000 Rpm y salida de 180 Rpm el sistema cuenta igualmente con un engranaje tipo piñón acoplado con cadena de paso 60.

La conexión eléctrica de este motor se implementó mediante la secuencia de un interruptor trifásico (breaker), contactor trifásico, protector térmico y por último el motor del transportador.

Figura 25. Diagrama de bloque eléctrico del transportador 1



El interruptor o breaker se calculó con la corriente nominal de cada motor aumentada en un 50% debido a los elevados picos de corriente que genera n los motores en el arranque.

El encendido y apagado de este transportador de tornillo sinfín horizontal, se puede realizar mediante una botonera instalada en la máquina o automáticamente en el control automatizado del sistema implementado en la unidad central de procesamiento.

Figura 26. Transportador de tornillo sinfín



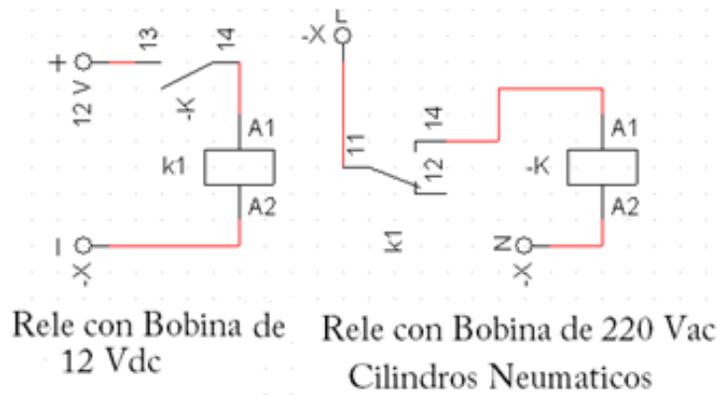
8.1.3 Compuertas neumáticas de entrada de producto en los silos mayores . Para la apertura y cierre de estas compuertas se implementaron gatos neumáticos de doble efecto, el avance y el retroceso del émbolo se hacen con la presión del aire. La Figura 27 ilustra los émbolos neumáticos instalados sobre el recorrido del tornillo sinfín para el llenado de las tolvas de materia prima.

Figura 27. Sistema neumático de los silos de almacenamiento



El control de apertura y cierre de las compuertas de las tolvas de llenado se realizó con válvulas electroneumáticas, activando un relevo de 220 Vac a través de un contacto de relevos con bobinas de 12 Vdc. La siguiente Figura muestra la conexión eléctrica implementada para la activación de las válvulas electroneumáticas.

Figura 28. Conexión eléctrica de las válvulas electro neumáticas



El sistema de potencia de las válvulas neumáticas fue alambrado al tablero de conexión mediante cable tipo vehículo de calibre número 16, debido a que la longitud entre el tablero y las válvulas neumáticas a controlar es aproximadamente 40 metros .

9. SISTEMA DE MEZCLADO

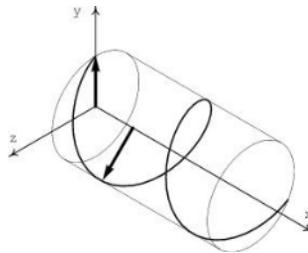
El proceso de mezclado cuenta con sistemas de transporte, sistema de mezclado y el sistema de apertura y cierre de compuertas neumáticas.

9.1 SISTEMA DE MEZCLADO HELICOIDAL

Este proceso se realiza mediante una mezcladora tipo helicoidal en la cual se homogenizará el fertilizante para realizar mezclas de alta calidad.

El diseño de esta mezcladora tiene el principio de un sistema helicoidal el cual mueve la mezcla de un extremo a otro de tal manera que homogenizará el producto que se quiera mezclar.

Figura 29. Estructura de un sistema helicoidal



Fuente: Wikipedia, enciclopedia libre.

Sistema eléctrico de la mezcladora helicoidal. Para el movimiento de la mezcladora se instaló un motor con una potencia nominal de 12 Hp. En la Figura 30 se ilustra el motor que se implementó en el diseño de la mezcladora helicoidal.

Figura 30. Motor de la mezcladora



Se implementó un arrancador suave de marca Siemens de la gama SIRIUS el cual permite variar parámetros en el arranque de los motores logrando características tales como:

- Arranque por rampa de torque, la cual mejora el mismo para mover carga pesada en extremo, en caso de que la energía disponible sea lo suficientemente elevada (no se limita la corriente).
- Se evitan los transientes en la red y las caídas bruscas de tensión.
- Por el lado mecánico es posible evitar los bruscos tirones que dañan componentes tales como correas, engranajes, etc. Así mismo, se tiene la opción de detener el motor con rampa de desaceleración.

Este arrancador suave es de los más avanzados de la marca Siemens, el cual ofrece un control superior de la corriente y el par, e incorpora elementos avanzados de protección de motor tales como controladores de Par, controladores de par de 2 fases, controladores de tensión de lazo abierto o de lazo cerrado y controladores de corriente de lazo cerrado.

La Figura 31 muestra el arrancador suave Sirius con sus respectivos indicadores y potenciómetros de ajuste de parámetros.

Figura 31. Arrancador suave de la mezcladora



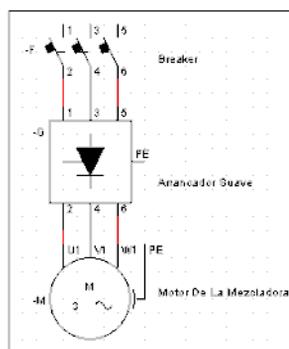
Fuente: <http://www.siemens.com>

Mientras el motor inicia su marcha, el arrancador controla continuamente la corriente eléctrica que recibe el motor, siempre adaptándose a las características del motor de la mezcladora. El motor se acelera con bajo nivel de esfuerzo; esto genera un efecto positivo tanto en las características de la operación como en la vida útil de la mezcladora.

Los parámetros a configurar en este tipo de variador están dados por el tiempo de arranque, la tensión de arranque y tiempo de parada; estos parámetros se pueden ajustar por medio de tres potenciómetros. Por este motivo, el arrancador suave siempre realiza un trabajo óptimo.

La conexión eléctrica en el tablero se implementó mediante un breaker de protección seguido del arrancador suave y por último la conexión de la mezcladora. Este diagrama se muestra en el Figura 32.

Figura 32. Conexión eléctrica de la mezcladora



9.2 ELEVADOR DE CANGILONES (ELEVADOR 2)

El sistema de mezclado también cuenta con un elevador de cangilones llamado elevador 2 con una potencia de 6 Hp con conexión a 440 Vac. Este motor es el encargado del movimiento ascendente del material mezclado hacia las tolvas de almacenamiento de empacado. El sistema de conexión eléctrica se implementó de forma similar como en el elevador 2 del sistema de carga de materia prima. Este elevador se muestra en la Figura 33 con sus respectivos vasos de carga.

Figura 33. Elevador de cangilones 2



9.3 SISTEMA NEUMÁTICO (APERTURA Y CIERRE DE ESCOTILLAS)

Cuando se da la orden de mezclado, cada silo de almacenamiento mayor tiene en la parte inferior una compuerta de acción neumática, la cual deja salir el producto para ser depositado en la mezcladora. Para interrumpir el vaciado de producto sobre la mezcladora, se procederá a cerrar la compuerta del silo de interés; de esta manera se efectúa el mismo proceso para el resto de compuertas de salida de los silos de almacenamientos de materia prima.

El control electroneumático se efectuó de la misma forma en todas las escotillas del sistema de mezclado. Para la apertura y cierre de estas compuertas se implementaron gatos neumáticos de doble efecto, en los cuales el avance y el retroceso del émbolo se hacen con aire a presión. La Figura 34 ilustra la salida de las tolvas de almacenamiento instaladas con gatos neumáticos de doble efecto.

Figura 34. Salidas de las tolvas de almacenamiento



9.4 SISTEMA PESAJE (APERTURA DOSIFICACIÓN DE MATERIA PRIMA A MEZCLAS)

La mezcladora está soportada sobre una estructura de 4 celdas de carga tipo barra (sólo punto de apoyo) donde se sensa el peso del producto cada vez que cae de los silos de almacenamiento. Cuando el peso del material descargado de un silo mayor llega al valor indicado con anterioridad en el programa, este procederá a cerrar la compuerta de salida de este silo para dejar de vaciar producto sobre la mezcladora y procederá a abrirá la compuerta del siguiente silo para efectuar el mismo proceso, y así sucesivamente con los siguientes silos que sean necesarios para obtener la mezcla requerida, manteniendo siempre controlado el peso de la mezcladora por medio de las órdenes de apertura y cierre de la compuertas de salida de producto.

9.4.1 Celdas de carga del sistema de pesaje. El sistema de pesaje implementado fue diseñado con 4 celdas tipo barra de la marca Sentronik, las cuales soportan todo el peso de la mezcladora. Estas celdas tienen la capacidad de soportar 2500 libras con salida de 3mV/V. La Figura 35 muestra la celda de carga implementado tanto en el sistema de mezclado como en el sistema de empacado.

Figura 35. Celda de carga tipo barra del sistema de pesaje de la mezcladora



Fuente: <http://www.lasbasculas.com>

Estas celdas de carga son fabricadas con una aleación de acero inoxidable; son altamente resistentes frente a la corrosión. A continuación se muestran las características principales de las celdas de carga que se implementaron en el sistema de pesaje de la mezcladora.

Entre las principales características se tienen:

- Compensación por variación de la temperatura
- Máximo voltaje de excitación de 15 Vdc
- Salida de 3 mV/V
- Sobre peso de 150% de la capacidad máxima del peso de la celda

9.4.2 Caja de suma para celdas de carga. La caja de suma del sistema de pesaje es de la marca Sentronik para cuatro celdas de carga. Esta es la encargada de sumar las señales de las cuatro celdas para conducir las al indicador, el cual es el encargado de suministrar el peso del sistema de celdas. La caja de suma implementado en el sistema de pesaje es ilustrado en la Figura 36.

Figura 36. Caja de suma del sistema de pesaje (mezcladora)



Fuente: <http://www.lasbasculas.com>

La caja de suma contiene 4 potenciómetros para ajustar las señales de cada celda y proporcionar una calibración fina para el sistema de pesaje.

9.4.3 Indicador de lectura de celdas.

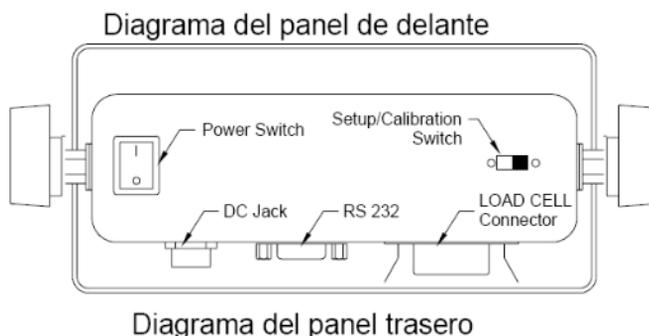
Figura 37. Indicador del sistema de pesaje de la mezcladora



Fuente: <http://www.lasbasculas.com>

El indicador implementado en el sistema de pesaje es de marca Sentronik de la serie SE700. Este indicador utiliza un display de leds de 7 dígitos y 7 segmentos, de alta resolución, un conversor análogo digital de alta velocidad y una selección flexible con los menús de configuración.

Figura 38. Diagrama de conexión del indicador de peso



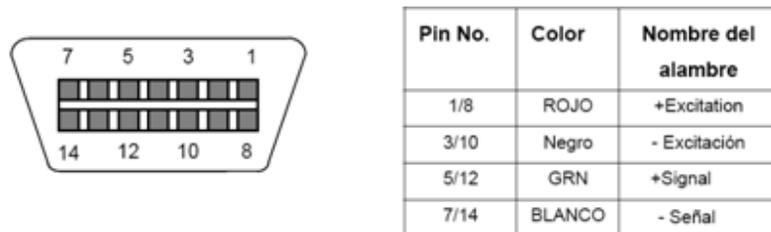
En la Figura 38 se muestran los diferentes conectores y configuraciones que tiene el módulo del sistema de pesaje. Entre las características más importantes se tienen:

- Encendido del módulo (power switch)
- Conector Load Cell: conector para ingresar la señal de una celda de carga o de una caja de suma para ser mostrada en el display del módulo.

- Conector RS232 utilizado para la transmisión serial de datos con la configuración previamente realizada.
- jack DC utilizado para la conexión de una batería auxiliar en caso que la alimentación de voltaje alterno se haya interrumpido.

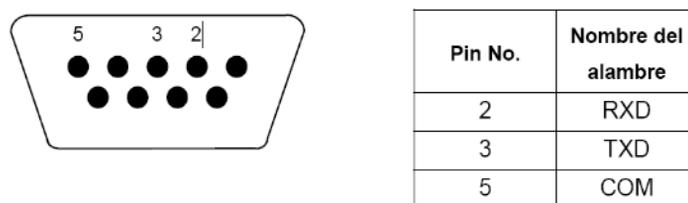
La conexión de los terminales de las celdas de carga , o en este caso, la conexión de la caja de suma se implementó en el módulo mediante un conector con la siguiente configuración que se ilustra en la Figura 39:

Figura 39. Conexión de la celda de carga al indicador de peso



La conexión del sistema de transmisión de datos RS232 se implementó con un conector de 9 pines que tiene la configuración ilustrada en la Figura 40.

Figura 40. Conexión de datos del indicador de peso



Tanto el menú de configuración de transmisión de datos como de peso se realiza con el menú asignado en el Anexo D, la configuración de transmisión de datos seriales al computador se asigna también en el mismo Anexo D. En este anexo se dan todas las posibles configuraciones del módulo para la realización del proyecto.

9.5 DOSIFICACIÓN DE QUELATOS

La dosificación de los productos menores se realiza con temporización del encendido y apagado de los 8 tornillos sinfín, que arrastran el producto por una pendiente de 45 grados y una distancia de 2 metros como se muestra en la Figura 41. Cada tornillo sinfín es

calibrado para que en un determinado tiempo arroje a la mezcladora las cantidades exactas requeridas por la producción, cuando el proceso de dosificación inicia.

Figura 41. Dosificadores de quelatos



En el programa general del computador se indica la cantidad del material que se requiere para realizar la mezcla y éste a su vez calcula el tiempo necesario para la dosificación de los quelatos. Luego que se agregan los quelatos, se procede a realizar la homogenización del producto la cual tiene una duración que varía entre uno y dos minutos. Cuando finaliza el tiempo de mezclado, en la parte inferior, la mezcladora tiene una compuerta donde evacua el producto para ser llevado a un elevador de cangilones (elevador dos) hasta uno de los silos de almacenamiento de producto terminado.

La conexión eléctrica del sistema de tornillos sinfín dosificadores, se implementó con motores monofásicos de 110 Vac y potencia de 6 Hp, el consumo de corriente nominal es de 6 A por motor y su conexión es arranque por condensador. El sistema de encendido o apagado de los motores dosificadores de quelatos se realiza mediante relevos de 8 pines tipo industrial antecedido por un breaker de protección como se muestra en la siguiente Figura.

Figura 42. Breaker, Relevos de 8 pines



Relevo de 8 pines

Breaker de protección

Fuente: Wikipedia, enciclopedia libre.

Los motores se conectaron mediante cable calibre 14, ya que éste soporta una corriente de 15 amperios cuando están por tubería y los motores consumen una carga nominal de 6 amperios.

10. SISTEMA DE EMPACADO

Luego de que la mezcla se realiza y se almacena en los silos de empacado, el sistema procede de la siguiente forma:

La salida de los dos silos de almacenamiento de producto terminado llega a una banda dosificadora. Mediante un variador de velocidad es controlado el giro o velocidad de dicha banda. Cuando se quiere empacar el producto de un silo, se abre la compuerta de almacenamiento de producto terminado y el producto es transportado mediante esta banda a una pesa, la cual transmite el valor del peso al computador de control para manejar la velocidad de dicha banda y lograr la dosificación del peso requerido.

Cundo el producto en la báscula de ensacado llega al peso requerido, la banda dosificadora es detenida.

Al llegar al peso deseado, el operador oprime un interruptor que da la orden de abrir las compuertas de salida de la báscula dosificadora y de esta manera cae el producto directamente al saco de empacado que previamente ha sido sujetado mediante dos gatos neumáticos.

Para finalizar, el bulto ya cocido es llevado sobre una banda transportadora para ser recibido por un trabajador y ser estivado en cantidades de 32 bultos para luego ser almacenado en la bodega.

10.1 CONTROL DE LA BANDA DOSIFICADORA

Para el control del motor de 1.5 Hp, de la banda ensacadora se implementó un variador de velocidad marca Siemens de la gama Micromaster 420 con capacidad de 1.5 Hp. La apariencia de este variador de velocidad se muestra en la Figura 43.

Figura 43. Variador de velocidad Siemens



Fuente: <http://www.siemens.com>

La serie MICROMASTER 420 es un convertidor de frecuencia para modificar la velocidad de motores trifásicos. El variador de velocidad está controlado por un microprocesador y

utilizan tecnología IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) de última generación, esto lo hace fiable y versátil. Un método especial de modulación por ancho de impulsos con frecuencia de pulsación seleccionable permite un funcionamiento silencioso del motor y extensas funciones de protección ofrecen una protección excelente tanto del convertidor como del motor.

La configuración básica que se implementó para el control de velocidad de la banda transportadora para el sistema de dosificación está relacionada en el Anexo 1.

Los pines de conexión del variador tanto en potencia como en control se muestran en la Figura 44.

Figura 44. Bornes de conexión del variador Micromaster 420

Bornes de mando

Borne	Significado	Funciones
1	-	Entrada +10 V
2	-	Entrada 0 V
3	ADC+	Entrada analógica (+)
4	ADC-	Entrada analógica (-)
5	DIN1	Entrada digital 1
6	DIN2	Entrada digital 2
7	DIN3	Entrada digital 3
8	-	Salida aislada +24 V / máx. 100 mA
9	-	Salida aislada 0 V / máx. 100 mA
10	RL1-B	Salida digital / contacto de trabajo
11	RL1-C	Salida digital / conmutador
12	DAC+	Salida analógica (+)
13	DAC-	Salida analógica (-)
14	P+	Conexión RS485
15	N-	Conexión RS485



La máxima frecuencia de funcionamiento para el motor de la banda ensacadora es de 90 Hz cuando se requiere un llenado rápido de la báscula ensacadora. Cuando el sistema llega a un peso preestablecido el computador da la orden del cambio de velocidad programado previamente con sus entradas digitales, para pasar a una velocidad asignada por la frecuencia de 10 Hz y de esta manera disminuir la velocidad del motor para obtener una dosificación más precisa.

La conexión eléctrica del sistema de la banda transportadora está dado por un Breaker de protección seguido por el variador de velocidad y finalmente la conexión del motor como se ilustra en la Figura 45.

Figura 45. Conexión eléctrica del variador de velocidad.



10.2 SISTEMA NEUMÁTICO DEL SISTEMA DE EMPACADO

Cuando se da la orden de ensacado, cada salida de los silos de almacenamiento de la etapa de empacado es abierta para dejar caer el producto ya mezclado sobre la banda dosificadora para realizar el proceso de pesaje y empacado del producto terminado. En este subproceso se manejan una serie de 4 actuadores neumáticos los cuales son:

- Dos gatos neumáticos para la salida del producto de los dos silos de almacenamiento de producto terminado.
- Un gato neumático para el control de apertura y cierre de la báscula de pesaje.
- Un gato neumático para accionar el agarre del bulto en la salida de la báscula.

El control neumático se realizó de la misma manera que las escotillas del sistema de mezclado, para la apertura y cierre de estas compuertas se implementaron gatos neumáticos de doble efecto donde el avance y el retroceso del embolo se hace con aire a presión.

11. MONTAJE DEL TABLERO ELÉCTRICO

El montaje del tablero eléctrico se realizó teniendo en cuenta dos parámetros de diseño los cuales son: sistema de salida y sistema de entrada. Cada actuador en la planta cuenta con pulsadores con voltaje de operación de 24 Vdc, que permiten controlar el encendido y apagado de cada dispositivo de la planta; y un sistema de salida que son los dispositivos encargados de activar los contactores y relevos industriales para el acople de potencia y control de la tarjeta de adquisición de datos.

11.1 SISTEMA DE ENTRADA DE DATOS

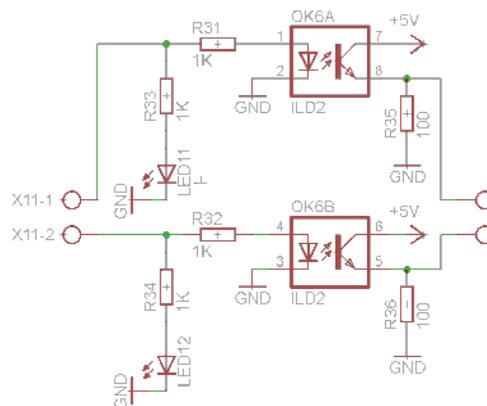
Cada motor, gato neumático y actuador tiene un sistema de encendido y apagado mediante botoneras asignadas a un panel de control, el sistema se implemento con voltaje de control de 24 Vdc para evitar caídas de voltaje ya que el recorrido al tablero de control es aproximadamente 40 metros.

El sistema está acoplado con tarjetas aisladas eléctricamente implementando optoacopladores con salida de transistor.

El sistema fué diseñado para proteger la tarjeta de adquisición de datos de corto circuitos y acoplar la señal de entrada a la tarjeta ya que esta maneja solo voltajes TTL o voltajes de 5 voltios.

La Figura 46 ilustra el circuito base implementado para las tarjetas optoacopladora de señal de entrada. En el Anexo B se muestra el diseño de las tarjetas tanto su circuito impreso como su circuito eléctrico.

Figura 46. Circuito optoacoplador de señales de entrada.

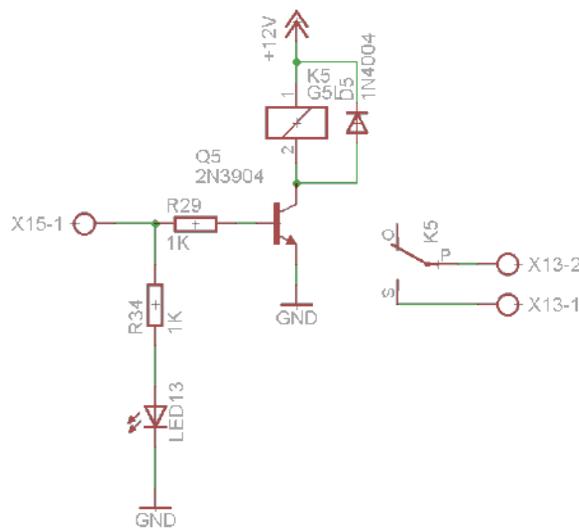


11.2 SISTEMA DE SALIDA DE DATOS

Debido a que la señal de control en la tarjeta de adquisición de datos tiene niveles de 5V dc, fué necesario acoplar la señal para realizar el control tanto de contactores como de válvulas neumáticas, ya que su funcionamiento es a 220 Vac; para ello se realizo una interface de relevos con bobina de 12 voltios dc; su activación y desactivación se implementó mediante un circuito de transistor en la región de corte y saturación. La utilización de los contactos del relevo de 12 Vdc permite abrir o cerrar una fase del sistema de potencia a 220 Vac y de esta manera activar todo el control de voltaje a 220Vac.

La Figura 47 ilustra el circuito base implementado para las tarjetas de acople de salida implementada con relevos de 12 Vdc. En el Anexo A se muestra el diseño de las tarjetas tanto su circuito impreso como su circuito eléctrico.

Figura 47. Circuito de salida en base a relevos



11.3 PLANO DEL TABLERO ELÉCTRICO

Para la implementación del tablero eléctrico fue necesaria la marcación de todo el plano eléctrico para poder identificar cualquier punto del tablero con el sistema de actuadores y sistema de control de la planta. Las siguientes figuras muestran el montaje del tablero tanto de salida de datos para el manejo de potencia como del sistema de entrada de datos con voltajes de 24 Vdc.

Figura 48. Tablero de potencia

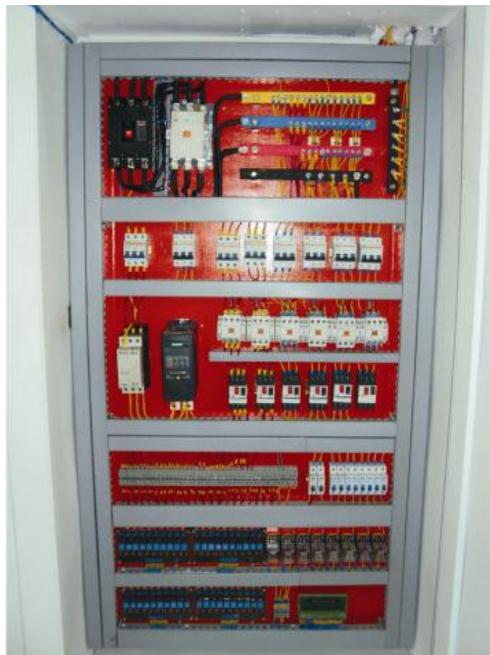


Figura 49. Tablero de control con voltaje de 24 V dc



11.4 NOMENCLATURA DEL TABLERO ELÉCTRICO

La siguiente tabla muestra la configuración y la codificación del sistema eléctrico tanto en control como en potencia que se utilizó en la marcación del tablero eléctrico.

Cuadro 1. Control de válvulas neumáticas

control de válvulas entradas tolvas	Nombre	Alimentación
entrada tolva 1	B1	220 Vac
entrada tolva 2	B2	220 Vac
entrada tolva 3	B3	220 Vac
entrada tolva 4	B4	220 Vac
entrada tolva 5	B5	220 Vac
entrada tolva 6	B6	220 Vac
Salida tolva 1	B7	220 Vac
Salida tolva 2	B8	220 Vac
Salida tolva 3	B9	220 Vac
Salida tolva 4	B10	220 Vac
Salida tolva 5	B11	220 Vac
Salida tolva 6	B12	220 Vac
Salida de mezcladora	B13	220 Vac
Selección tolva A/B	B14	220 Vac
salida de mezcladora A	B15	220 Vac
salida de mezcladora B	B16	220 Vac
Gato control de dosificación	B17	220 Vac
Gato pesa de bulito	B18	220 Vac
Gato agarre de Bulito	B19	220 Vac

Cuadro 2. Sistema eléctrico de motores

Motores	Nombre	Alimentación
Elevador 1	U1 - V1 -W1	440 Vac
Transportador	U2 - V2 -W2	440 Vac
Mezcladora	U3 - V3 -W3	440 Vac
Elevador 2	U4 - V4 -W4	440 Vac
Banda dosificadora	U5 - V5 -W5	440 Vac
Banda cocedora	U6 - V6 W6	440 Vac
Banda de bulito	U7 - V7 -W7	440 Vac

Motor Quelatos 1	L1	110 Vac
Motor Quelatos 2	L2	110 Vac
Motor Quelatos 3	L3	110 Vac
Motor Quelatos 4	L4	110 Vac
Motor Quelatos 5	L5	110 Vac
Motor Quelatos 6	L6	110 Vac
Motor Quelatos 7	L7	110 Vac
Motor Quelatos 8	L8	110 Vac
Neutro	N	
Fase	R	
Tierra	G	

Cuadro 3. Sistema eléctrico de control de 24 Vdc

ENTRADA DE DATOS CONTROL 24V	Nombre	Alimentación
24 Voltios de Control	0	24 V Dc
On elevador 1	1	24 V Dc
Off elevador 1	2	24 V Dc
On mezcladora	3	24 V Dc
Off mezcladora	4	24 V Dc
Motor quelatos 1	5	24 V Dc
Motor quelatos 2	6	24 V Dc
Motor quelatos 3	7	24 V Dc
Motor quelatos 4	8	24 V Dc
Motor quelatos 5	9	24 V Dc
Motor quelatos 6	10	24 V Dc
Motor quelatos 7	11	24 V Dc
Motor quelatos 8	12	24 V Dc
On transportador	13	24 V Dc
Off transportador	14	24 V Dc
On elevador 2	15	24 V Dc
Off elevador 2	16	24 V Dc
On banda dosificadora	17	24 V Dc
Off banda dosificadora	18	24 V Dc
On banda cocedor	19	24 V Dc
Off banda cocedora	20	24 V Dc
On banda bulto	21	24 V Dc
Off banda bulto	22	24 V Dc

Inicio de mezclado	23	24 V Dc
Parar mezclado	24	24 V Dc
Finalizar mezclado	25	24 V Dc
Inicio de ensacado	26	24 V Dc
Parar ensacado	27	24 V Dc
finalizar ensacado	28	24 V Dc
selección Tolva A/B	29	24 V Dc
Abrir/Cerrar tolva A	30	24 V Dc
Abrir/Cerrar tolva B	31	24 V Dc
Abrir/Cerrar cilindro dosificador	32	24 V Dc
Abrir/Cerrar pesa dosificadora	33	24 V Dc
Abrir/Cerrar agarre de bulto	34	24 V Dc
Pedal de control	35	24 V Dc

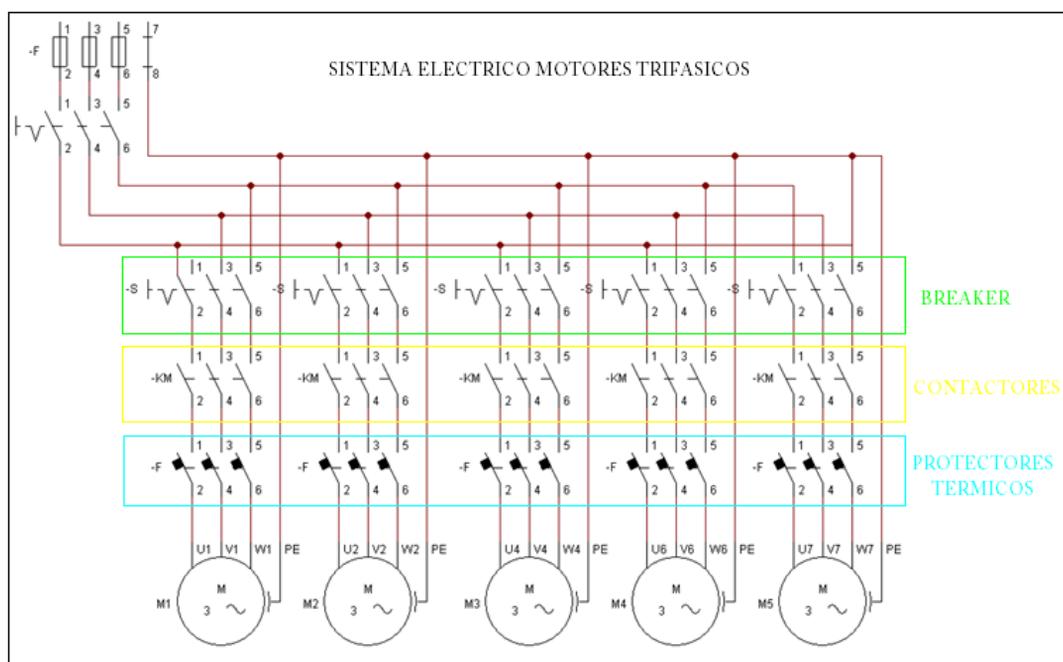
Cuadro 4. Indicadores luminosos 220 Vac

Led indicadores lumínicos 220Vac	Nombre	Alimentación
Inicio de ensacado	36	220 Vac
mezcla terminada	37	220 Vac
mezcla finalizar	38	220 Vac
inicio de ensacado	39	220 Vac
alcanzando peso	40	220 Vac
peso alcanzado	41	220 Vac
Ensacada finalizada	42	220 Vac
auxiliar 1	43	220 Vac
auxiliar 2	44	220 Vac
auxiliar 3	45	220 Vac
auxiliar 4	46	220 Vac

La conexión eléctrica trifásica de los motores se implementó como ya se había indicado anteriormente mediante breaker trifásicos acompañados de contactores a 220 Vac y protectores térmicos como se muestra en la Figura 50.

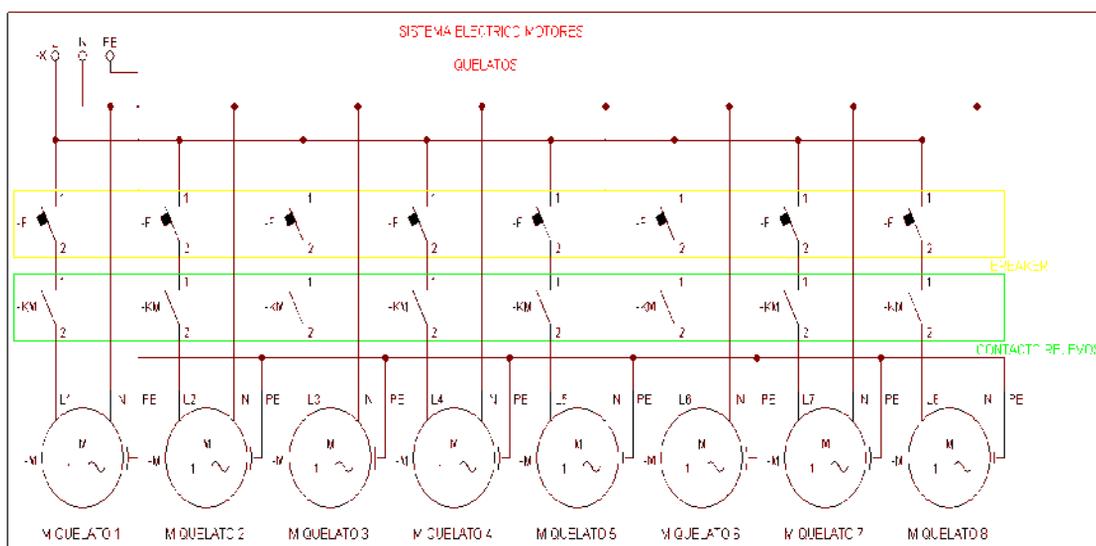
Cada conexión del motor tiene referencia a la nomenclatura referida en la Cuadro 2.

Figura 50. Conexión eléctrica de motores trifásicos



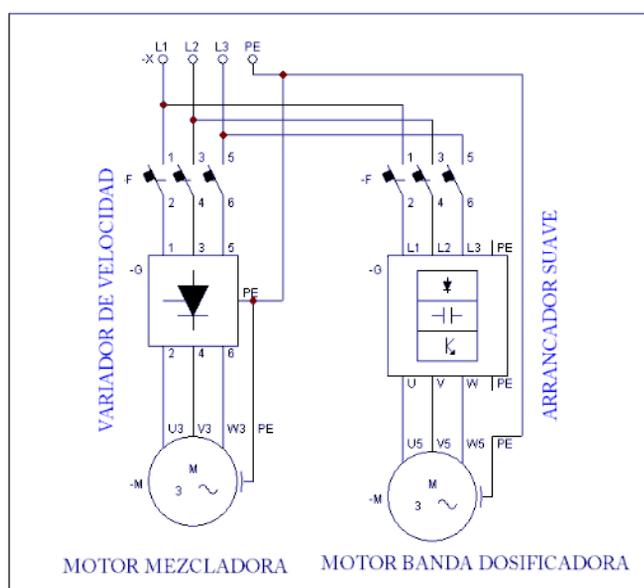
La conexión eléctrica de los motores monofásicos implementados en los dosificadores de tornillo sinfín para quelatos se realizó con un breaker acompañado de un relevo tipo industrial de 8 pines como se muestra en el Figura 51 y en la cual se visualiza el plano eléctrico implementado en el tablero de control y tablero de potencia.

Figura 51. Conexión eléctrica de motores monofásicos



El sistema eléctrico tanto del motor de la banda dosificadora que se implemento con un variador de velocidad y el motor de la mezcladora implementado con un arrancador suave se ilustra en la Figura 52.

Figura 52. Circuito eléctrico del arrancador y el variador de velocidad



12. DISEÑO DEL SOFTWARE DE CONTROL

El software fue diseñado bajo el programa Microsoft Visual Studio .NET asociado con las librerías de Measurement Studio, la cual es una distribución de bibliotecas de funciones desarrolladas por National Instruments para aportar funcionalidades de prueba, medida, control e instrumentación a Visual Studio, este paquete fue desarrollado e integrado con las clases y controles para aplicaciones de pruebas, medidas y automatización en Microsoft Visual Studio 2008/2005/.NET 2003 y Visual Studio 6.0.

Measurement Studio reduce drásticamente el tiempo de desarrollo de aplicaciones al proporcionar Formas de Windows, Formas Web y componentes de interfaz de usuario ActiveX diseñadas para ingenieros, análisis científico avanzado y adquisición de datos y asistentes para control de instrumentos optimizados para pruebas.

Este diseño fue implementado con una tarjeta de adquisición de datos de National Instruments la cual permite obtener gran variedad de puertos configurados como entrada o salida con una alta confiabilidad respecto a factores como el ruido eléctrico y electromagnético.

12.1 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

La tarjeta de adquisición de datos que se implementó es de National Instruments tipo PCI con referencia PCI 6509; esta tarjeta se ilustra en la Figura 53.

Figura 53. Tarjeta PCI 6509



Fuente: <http://www.ni.com>

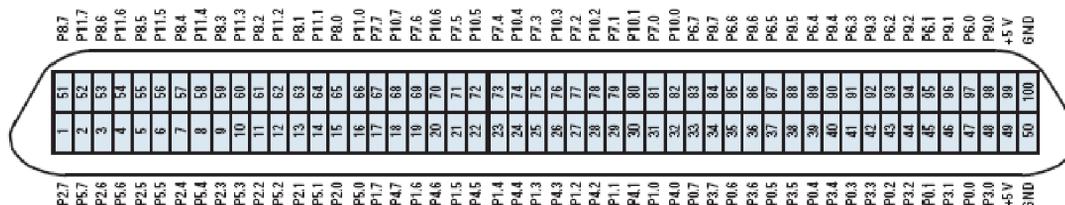
La tarjeta PCI-6509 de National Instruments es una interfaz de E/S digital industrial de 96 canales para sistemas PCI. Cuenta con 96 líneas de entrada/salida digital bidireccional con alta capacidad de corriente (24 mA), sin interruptores para su configuración. Con esta tarjeta PCI-6509, se puede recibir y enviar niveles digitales de 5 VDC y controlar

directamente dispositivos digitales externos como relés de estado sólido (SSRs) con corriente hasta 24 mA por canal. Cada puerto (8 líneas) puede ser configurado de manera individual para entrada y salida y no se requiere de fuente de poder externa para las salidas. Se pueden configurar estados de encendido programables, se puede configurar en el software los estados de salida inicial para asegurar operaciones seguras y libres de rebotes al conectarse con actuadores industriales (bombas/válvulas/motores/relés).

Al usar watchdogs (guardianes) de E/S digital, la PCI-6509 puede ir a un estado de salida configurable y seguro si ocurre una falla en la PC o aplicación, para asegurar la detección y recuperación segura desde las condiciones de falla al estar conectado a los actuadores industriales. Con cambio de detección, el dispositivo de E/S digital notifica y dispara la aplicación de su software cuando ocurre un cambio de estado digital (sin monitoreo constante). Los filtros de entrada programables eliminan rebotes/picos y proporcionan estabilidad para relés/conmutadores digitales a través de un filtro digital seleccionable por software.

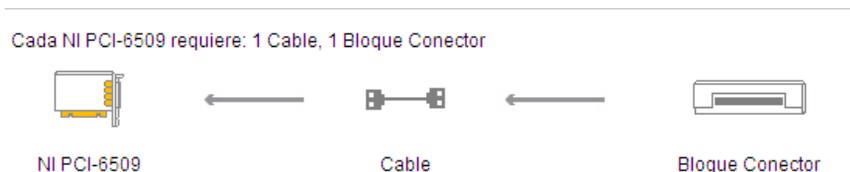
La configuración de los pines o puertos de salida de la tarjeta están ilustradas en la Figura 54, la cual muestra los 12 puertos o los 96 pines que tiene la tarjeta para el manejo de los diferentes dispositivos en la automatización de la planta.

Figura 54 Distribución de los puertos de la tarjeta PCI 6509



Debido a que esta tarjeta es un dispositivo de conexión PCI es necesario un cable de interconexión y un bloque de bornes para la conexión de los diferentes sistemas, el diagrama de bloques de estos dispositivos están ilustrados en la siguiente Figura 55.

Figura 55. Diagrama de conexión de la tarjeta de control.

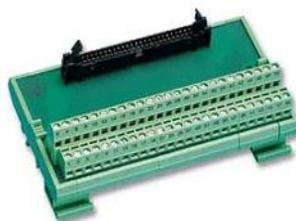


El sistema de interconexión de la tarjeta NI PCI-6509 consta de 2 sistemas de bornes con capacidad de 50 pines de conexión entre las cuales se cuentan 6 puertos de 8 pines o lo que

equivale 48 pines de entrada o salida para la tarjeta, los 2 bornes restantes son utilizados como alimentación de 5V DC y tierra para el sistema referencias respecto a la alimentación del voltaje de la tarjeta de adquisición de datos.

Las siguientes figuras ilustran tanto el tipo de caja de conexión utilizada para el sistema como el cable de interconexión desde la tarjeta hasta el bloque de bornes.

Figura 56. Bornes de conexión



Fuente: <http://www.ni.com>

Figura 57. Bus de datos de la tarjeta de control



Fuente: <http://www.ni.com>

12.2 CONFIGURACIÓN DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS:

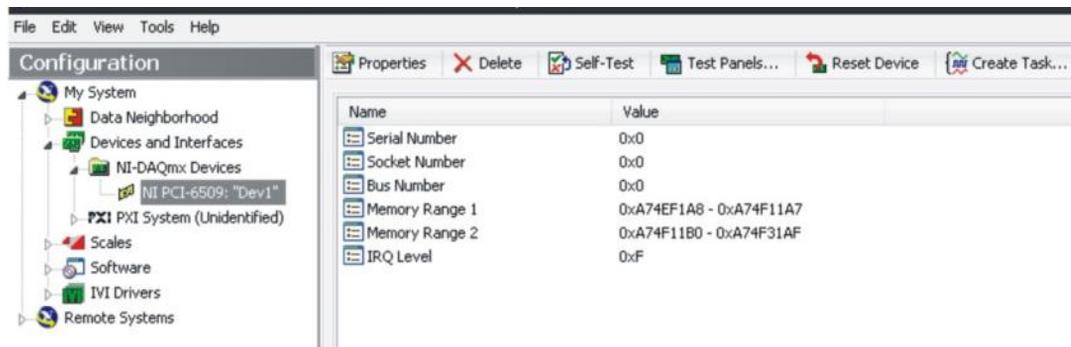
El software de Measurement Studio suministra un sistema de configuración de la tarjeta de datos de manera muy sencilla para configurar puertos o pines como entrada o salida requeridas en el diseño a implementar.

Al adquirir la tarjeta de National instruments, incluye el controlador y el software de configuración de la tarjeta.

El pantallazo principal para la configuración del sistema se ilustra en la Figura 58. En este pantallazo se puede observar la instalación de la tarjeta y la barra de herramienta principal del software con las siguientes herramientas:

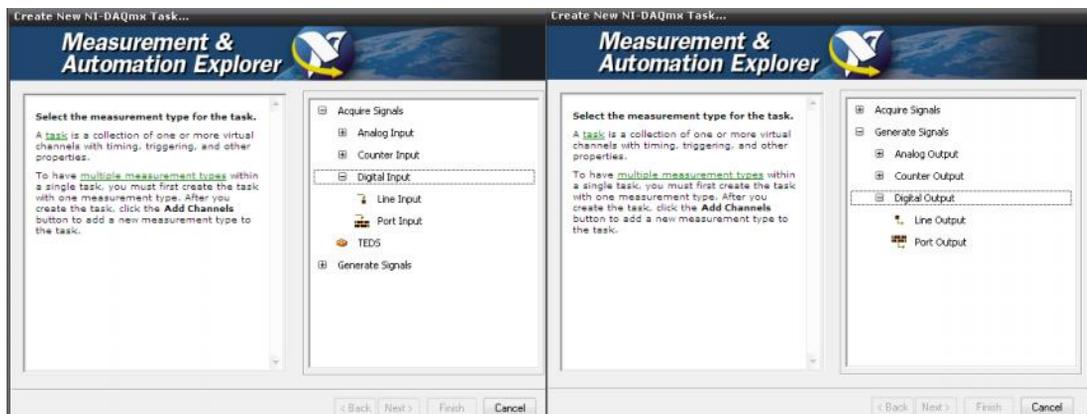
- Testeo de la tarjeta para verificar su funcionamiento .
- Reset de la tarjeta cuando ésta queda bloqueada.
- Sistema de testeo para pines y puertos del dispositivo.
- Creación de librerías para la ejecución de sistemas diferentes a Labview.

Figura 58. Pantallazo principal de Measurement Studio



Si se quiere configurar esta tarjeta se le da doble click al icono de esta, para la disposición tanto de los pines de entrada o salida. La siguiente Figura ilustra el pantallazo del programa para la configuración del sistema para puertos de entrada o salida.

Figura 59. Configuración de los puertos de la tarjeta de control



Después de configurar los diferentes pines que requiere el diseño, para este caso una distribución de 48 pines como entrada y 48 pines como salida, el programa crea la librería específica para implementarla en el paquete de programación requerido en este caso para .NET. En la siguiente Figura se muestra el simulador generado por Measurement Studio para la simulación de la configuración previamente realizada en la tarjeta.

Figura 60. Prueba de salida de datos de la tarjeta.

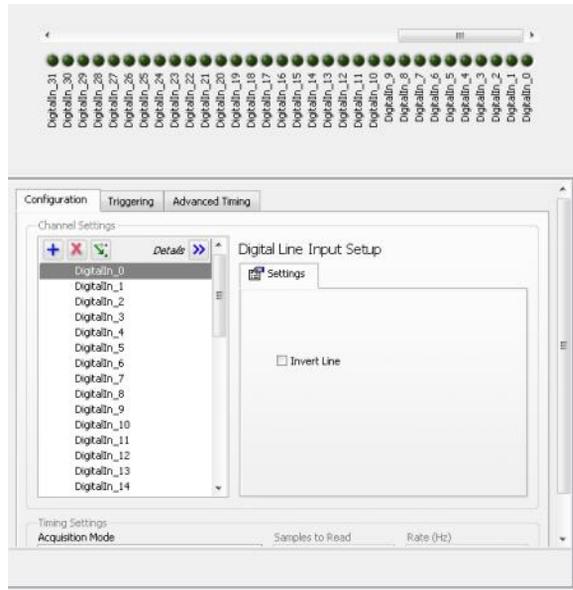
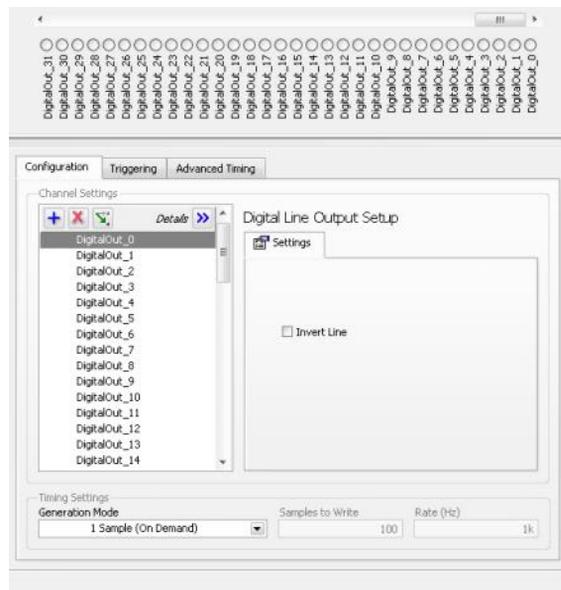


Figura 61. Prueba de entrada de datos de la tarjeta



Al terminar la configuración de la tarjeta de adquisición de datos esta suministra una librería para ser importada por Visual Studio.NET y poder manipular de manera sencilla los diferentes pines la tarjeta PCI 6509.

13. IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE

El sistema cuenta con tres pantallazos para realizar todo el proceso desde el llenado de producto de materia prima, pasando por el mezclado y finalizando con el ensacado. Todo el sistema se puede manipular tanto de forma manual como de manera automática para realizar los diferentes ciclos de producción.

13.1 SISTEMA DE LLENADO

El sistema de llenado cuenta con la manipulación de los gatos neumáticos de la entrada de las tolvas de almacenamiento, las cuales se muestran en la siguiente Figura.

Figura 62. Pantallazo del sistema de llenado.



El sistema, como se puede observar, puede manipular la apertura y cierre de las entradas de las 6 tolvas de almacenamiento, el encendido / apagado del elevador 1 y el transportador de materia prima.

El pantallazo presenta dos divisiones que son, la carga de elementos mayores y carga de elementos menores. Si se desea cargar algún elemento en particular, se selecciona de la paleta izquierda para habilitar el campo del material a cargar, luego se digita el valor en kilogramos que se va a cargar en las tolvas y se da inicio al sistema.

En este momento el sistema automáticamente enciende el elevador 1 y el transportador y abre la compuerta de selección donde irá a caer el producto. Cuando el operario ha terminado con la carga del producto, le dará al programa finalizar y el sistema apagará el transportador y el elevador 1 y cerrará la compuerta que está abierta y almacenará el valor del producto cargado en las tolvas de almacenamiento para llevar un registro del producto almacenado en las tolvas.

13.2 SISTEMA DE MEZCLADO

El sistema de mezclado igualmente tiene una paleta izquierda en la cual se puede de forma manual abrir o cerrar las tolvas de almacenamiento primarias como también el encendido de los motores dosificadores de quelatos, el elevador 2, la mezcladora y los gatos neumáticos de la salida de la mezcladora y la entrada del producto a las tolvas de almacenamiento del producto terminado.

Figura 63. Pantallazo del sistema de mezclado



En la anterior Figura se muestra el peso de la mezcladora que es transmitido a 9600 bps desde el módulo de pesaje, el peso mínimo para que la mezcladora se encienda, el peso límite superior que es el peso máximo para que la mezcladora se apague de forma automática y la cantidad de baches o número de ciclos que se irán realizando en el transcurso de la producción diaria.

Este pantallazo también indica las cantidades a mezclar, los valores se introducen en kilogramos tanto para los elementos mayores como para los elementos menores o quelatos, luego que los elementos sean digitados de manera correcta se iniciará el proceso de mezclado con las cantidades exactas. Luego que se termine el proceso el producto será almacenado en una de las dos tolvas de material terminado (a/b) para luego ser ensacado.

Este pantallazo también tiene la opción de cancelar el proceso definitivamente o cancelar el sistema sin apagar la mezcladora ya que arrancar esta con demasiado producto en ella se puede llegar a romper los acoples mecánicos, cuando se cancela el proceso sin apagar la mezcladora se cierran las compuertas de salida de las tolvas de almacenamiento y con ello se detiene la caída de producto hacia la mezcladora.

13.3 SISTEMA DE EMPACADO

El sistema de empacado cuenta con una paleta izquierda para interactuar con los motores y sistemas neumáticos de manera manual, en esta paleta se muestran los interruptores para el encendido del variador de velocidad de la banda ensacadora, las diferentes marchas de velocidad de la banda el cual puede tener las siguientes velocidades: velocidad rápida, velocidad media y velocidad lenta, a su vez tiene un botón para parar la marcha de la banda dosificadora de manera instantánea. De igual manera se puede interactuar con los gatos neumáticos de las salidas de las 2 tolvas de almacenamiento de material terminado como también el de la salida de la pesa o báscula de dosificación y el gato de agarre de bulto para la sujeción de este a la salida de la báscula ensacadora.

Figura 64. Pantallazo del sistema de empacado



En este pantallazo se muestra el peso de la báscula ensacadora en tiempo real con una transmisión de 9600 bps, en este pantallazo se configura los diferentes parámetros para realizar dosificación y el sistema de ensacado se realice de manera precisa.

En la casilla de peso de bulto se digita el valor a que se quiere empaquetar el bulto en este caso serán bultos de 50 kilogramos.

Para el control de peso se tiene tres datos los cuales son:

Peso máximo: indica hasta qué valor de peso la banda dosificadora tiene que girar a la velocidad máxima para alcanzar este peso dado en kilogramos.

Peso medio: indica hasta qué valor de peso la banda dosificadora tiene que girar a la velocidad media para alcanzar este peso dado en kilogramos.

Peso bajo: indica hasta qué valor de peso la banda dosificadora tiene que girar a la velocidad baja para alcanzar este peso dado en kilogramos.

Para el sistema de tolvas de almacenamiento se indican en el programa las cantidades de producto de cada tolva de material terminado ya que cada vez que se ensaca un bulto este valor se le descuenta de la tolva a la cual se está ensacando y de la misma manera si se deposita material terminado en estas tolvas el valor del peso será sumado para llevar un control del material depositado en los silos.

Cuando se digitan los datos de manera correcta y se da la orden de iniciar el proceso el sistema empezara con el proceso de ensacado explicado con anterioridad.

14. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se mostrarán los resultados obtenidos en las pruebas realizadas a los sistemas implementados en el proceso de automatización de la planta para la elaboración de fertilizantes. Estas pruebas están divididas en los tres subsistemas del proceso, los cuales son: sistema de mezclado, sistema de carga de materia prima y sistema de ensacado del material terminado.

14.1 ANÁLISIS DE LA ETAPA DE CARGA DE MATERIA PRIMA

La etapa de carga de materia prima en los silos de almacenamiento es de vital importancia ya que si éstos no cuentan con un ciclo que permita suministrar el material suficiente en los intervalos de tiempo correctos para realizar el mezclado, todo el proceso de elaboración del producto es interrumpido.

Para optimizar la velocidad de transporte de la materia prima se requiere depositarla a una determinada altura en los silos de almacenamiento, lo cual se logró mediante la implementación del sistema de elevador de cangilones que cuenta con 80 vasos que alcanzan un altura de 7 metros, permitiendo que el producto sea llevado con gran fluidez para no represar la producción.

El rendimiento del transporte y almacenaje en los silos de materia prima se realiza a una tasa de 8 bultos por minuto lo cual garantiza el sostenimiento de la cantidad de materia prima, necesaria para la producción diaria.

14.2 ANÁLISIS DE LA ETAPA DE MEZCLADO

En la etapa de mezclado se alcanzaron los objetivos preestablecidos con anterioridad ya que se obtienen mezclas con un alto grado de homogeneidad. Los productos a mezclar se agregan de manera automática a la mezcladora y con una exactitud de un 5% en un bache de 1000 kilos. La velocidad de mezclado por bache está dada por las siguientes características: el sistema de vaciado de la materia prima a la mezcladora se realiza en un tiempo promedio de 20 segundos por producto de cada uno de los 6 silos, logrando la dosificación completa de los seis productos mayores en un tiempo aproximado de un minuto.

La dosificación de los quelatos en promedio se realiza con un tiempo de 1 minuto dependiendo de las características de la mezcla que requiera el cultivador.

Con estos datos se tiene que la carga de material en la mezcladora se realiza en promedio de dos minutos. La duración de mezclado o de homogenización del fertilizante es de un minuto después de que se realice la carga de estos. Por lo tanto el sistema de mezclado

tiene un rendimiento en promedio de 1000 kilogramos de material terminado cada tres minutos.

14.3 ANÁLISIS DE LA ETAPA DE ENSACADO

Con la automatización del proceso de ensacado, se obtuvo una eficiencia de seis bultos de 50 Kilogramos cada uno, empacados por minuto.

Estos resultados demuestran un mayor volumen en la etapa de ensacado, ya que en un turno de ocho horas, donde, anteriormente se lograba ensacar de forma manual 400 bultos aproximadamente, ahora se puede lograr un volumen de 2880 bultos ensacados en el mismo tiempo.

15. CONCLUSIONES

- Al implementar el sistema de automatización de esta planta, se logró obtener mayor volumen de producción e incremento en la calidad del fertilizante, logrando obtener beneficios económicos, ya que la producción se elevó en un 300% y la calidad del fertilizante aumentó en un alto grado ya que las mezclas se realizan de manera más exactas que elaborándolas de forma manual.
- Los sistemas neumáticos son muy versátiles, porque permiten aplicar fuerzas elevadas y facilitan la transformación de movimientos. Son los sistemas que hoy en día se utilizan esencialmente, añadiéndole toda la versatilidad de los sistemas eléctricos y electrónicos combinados. Con esto se logra una significativa automatización de máquinas y procesos.
- El control en el sistema de pesaje brindó la posibilidad de modernizar y tecnificar los procesos que requieran de dosificación de materia prima para elaboración de fertilizante, al posibilitar la transmisión de datos del peso en tiempo real y logrando el control del proceso que requieran estas variables.
- El sistema de dosificación con banda transportadora se realizó de manera más exacta con la implementación de variadores de velocidad de corriente alterna, ya que estos brindan la posibilidad de controlar la velocidad de la banda transportadora.
- Para los motores eléctricos mayores de 10 Hp, se hizo necesario el uso de arrancadores suaves con el fin de tener un control adecuado de corriente y par del arranque del motor y, por el lado mecánico, evitar los bruscos tirones que dañan componentes tales como correas y engranajes.
- Al controlar aproximadamente 80 actuadores entre dispositivos de entrada y salida, dentro de los cuales se tienen motores de alta potencia que generan una gran cantidad de armónicos en la red y que afectan los sistemas de control, fue necesario la implementación de una tarjeta con un buen sistema de filtro de entrada y salida para evitar este tipo de fallas.
- Se implementaron protectores eléctricos a cada motor con la utilización de guarda motores y Breakers, ya que los motores pueden presentar gran esfuerzo mecánico es necesario implementar circuitos de protección para evitar daños en estos.

- La calibración de los sistemas de pesaje es fundamental para el equilibrio de fuerza de la báscula, ya que una variación del movimiento de ésta desajusta el sistema y por lo tanto la báscula estará desequilibrada suministrando un peso alterado.
- Los dosificadores de tornillo sinfín son sistemas altamente confiables, debido a que presentan una desviación del 2% en el producto a dosificar, pero se aclara que se deben de estar calibrando continuamente por ser piezas mecánicas lo que significa que con el uso presentan desgaste y alteración en la dosificación del producto.
- La implementación de un sistema con tarjeta de adquisición de datos es mas económica respecto a la implementación de un PLC ya que en este proyecto se manejó una gran cantidad de líneas de entrada y salida. Aunque tiene las desventaja que el control del proceso se implementa directamente en el computador, por lo tanto depende totalmente del sistema operativo el cual puede ser vulnerable a diferentes daños si el sistema operativo falla, todo el proceso deja de funcionar.

16. RECOMENDACIONES

- Ya que el medio de trabajo de la planta se realiza con materiales altamente corrosivos, todos los elementos metálicos presentan gran desgaste lo cual es necesario implementar un sistema de mantenimiento adecuado.
- A los motores eléctricos implementados en el proceso industrial de la planta , se les debe realizar un mantenimiento eléctrico periódicamente con revisión del embobinado y aplicación de dieléctrico al motor, esto debido por la alta corrosión presente en el aire.
- Frecuentemente, se deben medir las corrientes de cada motor tanto monofásico como trifásico para llevar un registro de control y verificar su buen funcionamiento para calibrar los sistemas de protección como lo son los guardamotors y breaker.
- Continuamente se debe realizar una revisión de todos los empalmes eléctricos tanto de motores como de electroválvulas neumáticas para evitar corrosión en cada uno de sus terminales.

BIBLIOGRAFÍA

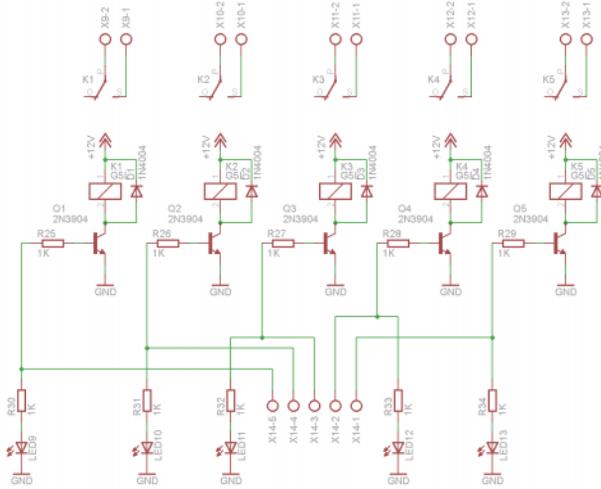
SALVADOR, Antonio Guillén. Introducción a la neumática. Marcombo, 1988. 115 p.

VILORIA, Roldán. , hidráulica, electricidad aplicada. Paraninfo, 2001. 58 p.

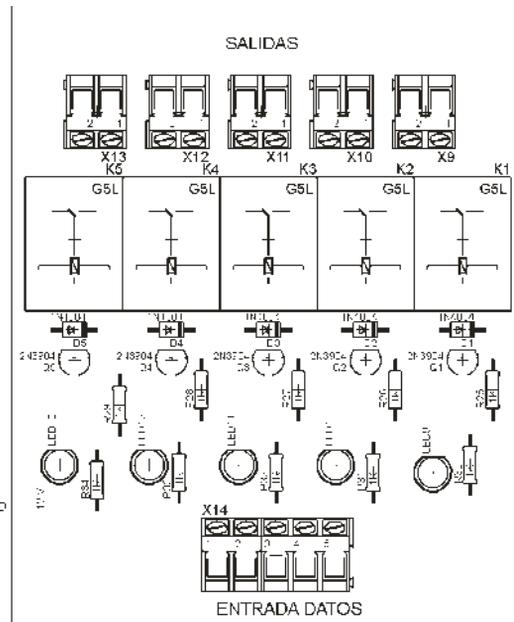
FLOWER LEIVA, Luis. Controles y automatismos eléctricos . Telemecanique, 2005. 77 p.

ROA Daniel, GONZALEZ Diana. Estudio para el diseño de un sistema de medición de la merma en el proceso de secado en el beneficio de la semilla de arroz en la empresa semillas del Huila S.A. Trabajo de grado (Ingeniero Electrónico). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería 2006.

ANEXO A. Circuito impreso de la etapa de relevos a 12V dc.

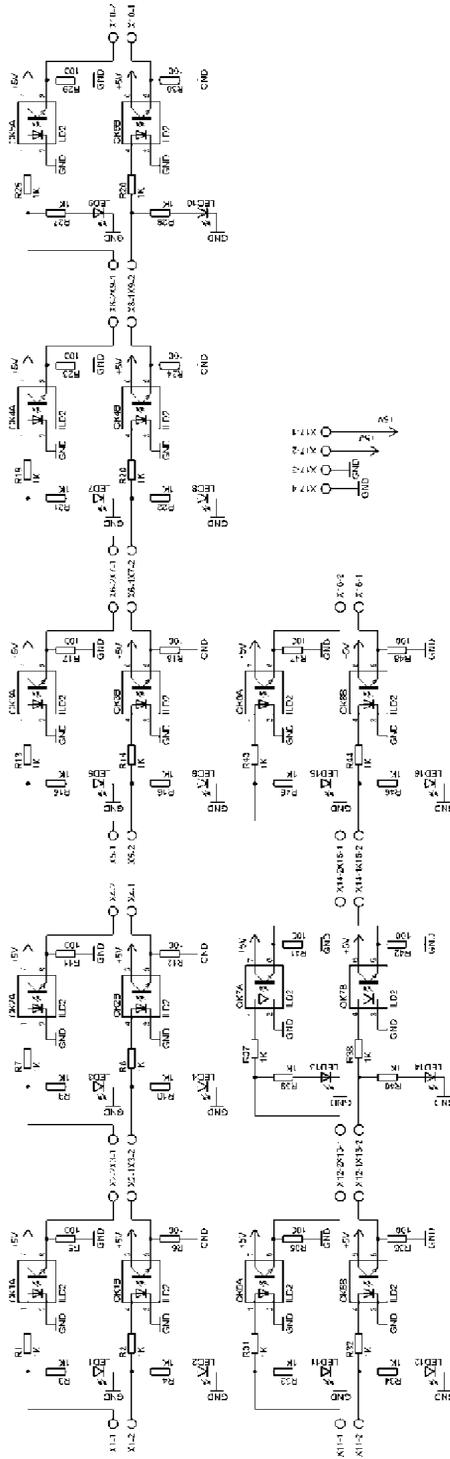


Circuito de control de relevos

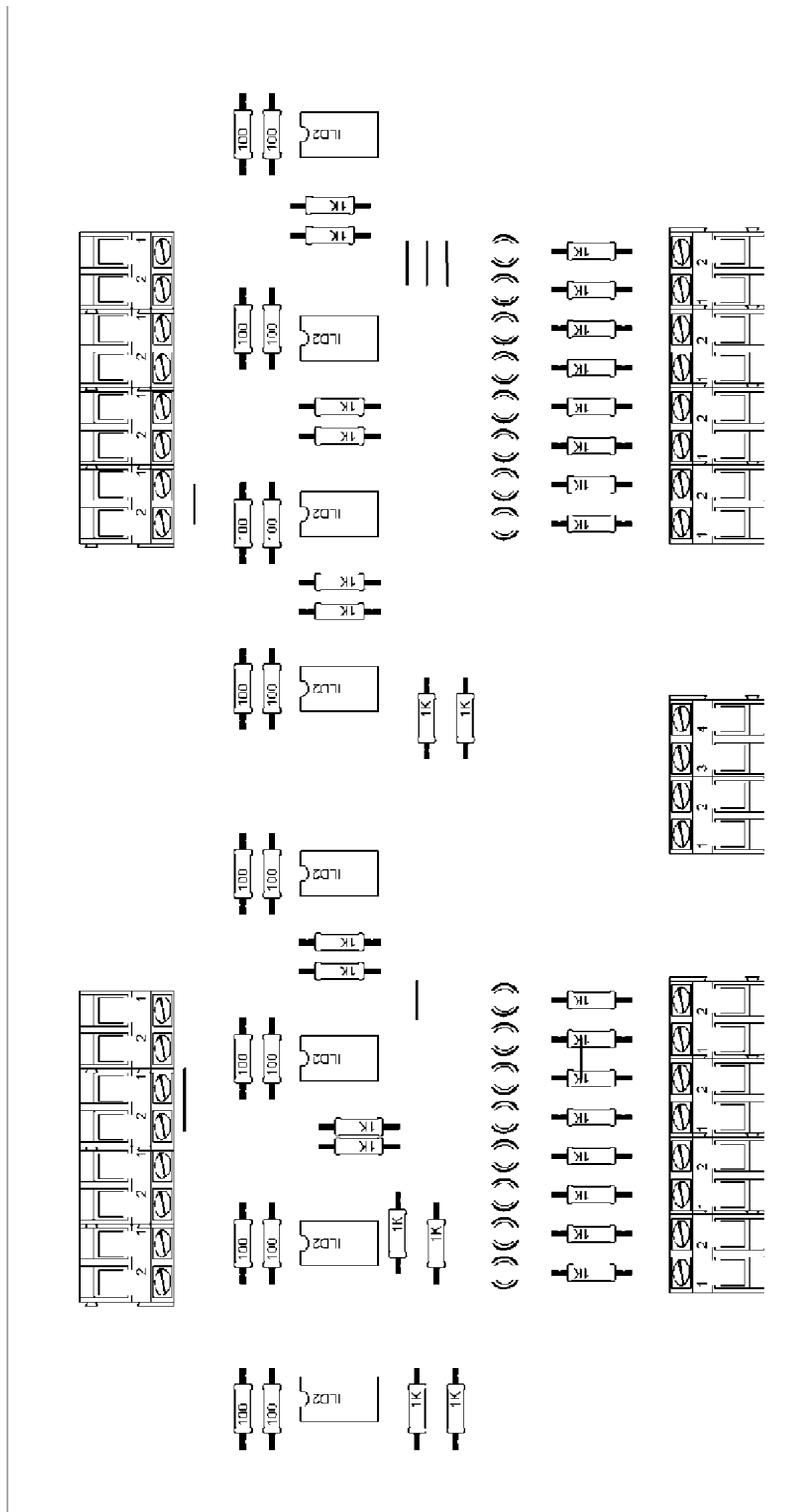


Diseño de impreso de control de relevos

ANEXO B. Circuito impreso de la etapa de control



Circuito impreso de optoacopladores



Diseño de impreso de optocopladores

ANEXO C. Parámetros de configuración encontrados en el CD de instalación del variador de velocidad Micromaster 420.

ANEXO D. Parámetros de configuración del módulo de pesaje SE700 encontrados en su CD de instalación.