

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA ALIMENTACIÓN  
Y DESCARGA DEL MEZCLADOR DE COMPUESTO MCR 40/100**

**HERNÁN MANUEL DÍAZ MEZA**

**RONALD MARCELL ROSERO VARGAS**

**TECNOLÓGICA DE BOLIVAR INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA**

**FACULTAD DE INGENIERIAS ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARTAGENA DE INDIAS**

**2002**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA ALIMENTACIÓN  
Y DESCARGA DEL MEZCLADOR DE COMPUESTO MCR 40/100**

**HERNÁN MANUEL DÍAZ MEZA**

**RONALD MARCELL ROSERO VARGAS**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero  
Electrónico**

**Director  
JORGE ELIÉCER DUQUE PARDO  
Ingeniero Electricista**

**TECNOLÓGICA DE BOLIVAR INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA**

**FACULTAD DE INGENIERIAS ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARTAGENA DE INDIAS**

**2002**

**Nota de aceptación**

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Cartagena, 19 de junio de 2002**

A mis padres, mis  
hermanos, mi novia y a  
todas aquellas personas  
que de una u otra forma  
colaboraron con mi  
formación.

HERNAN M. DIAZ MEZA

A mi padre, mi hermano, mi  
esposa , mi hijo y mi madre  
en los cielos.

RONALD M. ROSERO V.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Mariano Vimos Ibáñez, Ingeniero Naval y Gerente Técnico de la empresa TUVINIL de Colombia S.A., por su orientación y apoyo en el desarrollo del proyecto.

Alvaro Luis Jiménez Cárcamo, estudiante de Ingeniería Mecánica, por su constante colaboración en el desarrollo del proyecto.

La Institución se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados, los cuales no pueden ser explotados comercialmente sin su autorización.

## CONTENIDO

	pág
INTRODUCCIÓN	
1. GENERALIDADES ACERCA DEL PROCESO DE MEZCLADO DE LA EMPRESA TUVINIL DE COLOMBIA S.A.	3
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL DE MEZCLADO	3
1.2 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO ACTUAL DE MEZCLADO	6
2. DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE CONTROL	8
2.1 ALIMENTACIÓN Y DESCARGA DEL MEZCLADOR MCR 40/100 MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE BIG BAGS	9
3. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE RESINA, CARBONATO Y PULVERIZADO	16

3.2	TOLVAS VACIA -SACOS	17
3.3	UBICACIÓN DE LOS SENSORES DE NIVEL EN LAS TOLVAS VACIA-SACOS	21
3.4	ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL PROVENIENTE DE LOS SENSORES DE NIVEL	25
3.5	UNIDADES DE SUCCIÓN	26
3.4.1	Blower N°1	27
3.4.2	Blower N°2	28
3.4.3	Mando de los motores de los sistemas de succión	29
4.	SELECCIÓN DE VALVULAS DE BLOQUEO	33
4.1	VÁLVULAS DE CARGA Y DESCARGA DE RESINA PVC	34
4.2	VÁLVULAS PARA LA CARGA Y DESCARGA DEL CARBONATO DE CALCIO	37
4.3	VALVULAS PARA LA CARGA Y DESCARGA DEL PULVERIZADO	39
4.4	MANDO DE LAS VÁLVULAS DE BLOQUEO	41
5.	DISEÑO DEL SISTEMA DE PESAJE	43
5.1	SISTEMA DE PESAJE PARA LA RESINA PVC	43
5.2	SISTEMA DE PESAJE PARA EL CARBONATO DE CALCIO	51
5.2.1	Almacenamiento	51



5.2.2	Dosificación	55
5.2.3	Pesaje	58
5.3	SISTEMA DE PESAJE DE LA TOLVA DE PULVERIZADO	60
5.4	SISTEMA DE PESAJE DE COMPUESTO TERMINADO	63
5.5	ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL PROVENIENTE DE LAS CELDAS DE CARGA	70
6.	SISTEMAS FLUIDIFICADORES	72
6.1	TOLVA DE PESAJE DE RESINA PVC	73
6.2	TOLVA DE PESAJE DE CARBONATO DE CALCIO	74
6.3	TOLVA PULVERIZADO	75
6.4	MANDO DEL SISTEMA FLUIDIFICADOR	75
7.	MEDICIÓN DE TEMPERATURA	77
7.1	ADAPTACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA	78
8.	UNIDADES DE CONTROL DEL SISTEMA	80
8.1	ESPECIFICACIÓN DE LAS UNIDADES FUNCIONALES	81
8.1.1	Transporte, pesaje y descarga de resina pvc	81
8.1.2	Transporte, dosificación, pesaje y descarga de carbonato de calcio	83
8.1.3	Transporte, pesaje y descarga de pulverizado	87
8.1.4	Descargue de compuesto	90
8.1.5	Medición de temperatura	91

8.1.6 Otras señales	92
8.2 SELECCIÓN DEL PLC	94
8.3 PANEL DE OPERADOR	95
8.4 CONEXIÓN DEL SISTEMA A LA RED DE POTENCIA	97
9. DISEÑO DE LA LÓGICA DE CONTROL PARA EL SISTEMA	100
9.1 SECUENCIA LÓGICA A SEGUIR PARA LA ALIMENTACIÓN Y DESCARGA DEL MEZCLADOR	100
9.2 DIAGRAMA DE FLUJO	103
9.3 DIAGRAMA DE CONTACTOS	106
9.4 PLANOS DEL SISTEMA	116
10. COTIZACIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL MEZCLADOR MCR 40/100	123
11. CONCLUSIONES	126
12. RECOMENDACIONES	130
13. OBSERVACIONES	131
BIBLIOGRAFÍA	132
ANEXOS	134

## LISTA DE CUADROS

	pág
Cuadro1. Secuencia de eventos que suceden durante la alimentación y elaboración de compuesto en el mezclador	7
Cuadro 2. Principales características técnicas FTE 31	20
Cuadro 3. Características del motor del blower N°1	28
Cuadro 4. Características eléctricas del motor del blower N°2	29
Cuadro 5. Características técnicas F60X200	46
Cuadro 6. Características técnicas F60X100	59
Cuadro 7. Principales características del A-78	65
Cuadro 8. Características técnicas F60X300	68
Cuadro 9. Sumario de las señales del sistema	93
Cuadro 10. Asignaciones de memoria	106
Cuadro 11. Lista de elementos para control	118
Cuadro 12. Cotización de equipos eléctricos y electrónicos para la automatización del mezclador MCR 40/100	123

## LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Sistema actual de carga de resina PVC.	4
Figura 2. Disposición de los elementos existentes del mezclador MCR 40/100	6
Figura 3. Planta de compuesto de TUVINIL de Colombia S.A.	10
Figura 4. Transporte de big bags hasta la zona de alimentación	11
Figura 5. Descarga del big bag en la tolva vaciasacos	12
Figura 6. Tolva de pesaje	13
Figura 7. Descarga de compuesto proveniente del mezclador	15
Figura 8. Esquema de la estación vaciasacos actual	18
Figura 9. Solidswitch FTE 31	21
Figura 10. Localización del sensor de la tolva vaciasacos para la resina PVC 440	23
Figura 11. Ubicación de los sensores de nivel en las tolvas vacia-sacos	25
Figura 12. Esquema de funcionamiento del FTE 31	26
Figura 13. Protecciones para el motor del blower N°1	31
Figura 14. Protecciones para el blower N°2	31
Figura 15. Motor starter 3TF 4311 0A	32
Figura 16. Esquema del sistema de carga de resina PVC.	36
Figura 17. Válvula diversora ref. 325-WFB-2516E1	36
Figura 18. Válvula para descarga de resina PVC en la cuba caliente del mezclador	37
Figura 19. Esquema del sistema de carga del Carbonato de calcio.	38

Figura 20. Válvula para descarga de carbonato en la cuba caliente del mezclador.	39
Figura 21. Esquema del sistema de carga del pulverizado.	40
Figura 22. Válvula para descarga de pulverizado en la cuba fría del mezclador.	41
Figura 23. Esquema de conexión de las válvulas de bloqueo.	42
Figura 24. Montaje de las celdas de carga	45
Figura 25. Celdas de carga serie F60X	47
Figura 26. Sistema Stabiflex.	47
Figura 27. Detalle montaje de celda	48
Figura 28. Sumador de celdas de carga ALCJB3	49
Figura 29. Acondicionador de señales SMJ-CE	49
Figura 30. Fuente de alimentación QUINT-PS-230AC/24DC/1	50
Figura 31. Esquema del sistema de pesaje para la tolva de resina PVC.	51
Figura 32. Localización de los sensores de nivel en la tolva de almacenamiento de $\text{CaCO}_3$ .	53
Figura 33. Tornillo dosificador T35	57
Figura 34. Mando de tornillo dosificador	57
Figura 35. Esquema del sistema de pesaje para el carbonato de calcio	60
Figura 36. Esquema del sistema de pesaje para la tolva de resina PVC	63
Figura 37. Esquema de descarga del mezclador	64

Figura 38. Transportador helicoidal A-78	65
Figura 39. Mando del transportador helicoidal	66
Figura 40. Mesa de rodillos y estiba	67
Figura 41. Sistema de pesaje para el compuesto terminado.	69
Figura 42. Esquema de acondicionamiento 8de señal para 3 celdas de carga	70
Figura 43. Esquema de acondicionamiento de señal para 4 celdas de carga	71
Figura 44. Sistema fluidificador tolva de pesaje de resina PVC	73
Figura 45. Sistema fluidificador tolva de pesaje de carbonato de calcio	74
Figura 46. Sistema fluidificador tolva de pesaje de pulverizado	75
Figura 47. Esquema de mando para el controlador de secuencias.	76
Figura 48. Detalle de la boquilla de inyección de aire	76
Figura 49. Esquema medida de temperatur8a cubas del mezclador MCR 40/100	77
Figura 50. Esquema de monitoreo de temperatura.	79
Figura 51. S7-200 CPU 224	94
Figura 52. Panel de operación OP7	96
Figura 53. Esquema de configuración del OP7	97
Figura 54. Esquema de interconexión entre el OP7 y el S7-200	97
Figura 55. Esquema de conexión del sistema PLC a la red de potencia	98

Figura 56. Diagrama de flujo para la dosificación de aditivos	104
Figura 57. Diagrama de flujo mezcla	105
Figura 58. Diagrama de flujo descarga	105
Figura 59. Diagrama de instrumentación del sistema	119
Figura 60. Esquema de mando del sistema	120
Figura 61. Cableado del PLC	121
Figura 62. Disposición de los elementos en el gabinete	122

## **RESUMEN**

### **Título del Trabajo:**

DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA ALIMENTACIÓN Y  
DESCARGA DEL MEZCLADOR DE 2 COMPUESTO MCR 40/100

### **Autores:**

HERNÁN MANUEL DÍAZ MEZA

RONALD MARCELL ROSERO VARGAS

### **Objetivo General:**

Diseñar un sistema de control automático para optimizar el proceso de alimentación y vaciado del mezclador de compuesto MCR 40/100 de la empresa TUVINIL DE COLOMBIA S.A. mediante la utilización de un sistema PLC.

### **Tipo de Investigación:**

Descriptiva experimental



## **Resultados de la investigación:**

- Planos de la estructura mecánica que soportará el sistema.
- Diagrama de control e instrumentación del sistema con explicación detallada acerca de su funcionamiento.
- Planos de todo el sistema de control incluyendo protecciones para los elementos eléctricos y electrónicos que conforman el nuevo sistema.
- Estudio técnico-económico de todo el sistema seleccionando entre las distintas alternativas la más viable para su posible implementación.
- Memorias de todos los cálculos realizados en el diseño del sistema.
- Programa para cargar en el PLC.
- Manual de usuario.
- Manual de mantenimiento del sistema.

## **Director:**

JORGE E. DUQUE PARDO  
Ingeniero Electricista

## INTRODUCCIÓN

Actualmente la empresa TUVINIL DE COLOMBIA S.A. compra resina PVC en bolsas de 25 Kilogramos a PETCO S.A. para la preparación de los diferentes compuestos utilizados en la elaboración de sus productos. El mezclador MCR 40/100 fabrica aproximadamente 60 lotes de compuesto por día de producción, cada uno de los cuales requiere un promedio de 5 bolsas de resina PVC y otros aditivos en menor proporción como carbonato, colorantes y estabilizantes; esto quiere decir que se utilizan 300 bolsas de 25 Kilogramos por día de producción, lo que resulta poco práctico para la empresa debido a que se debe pagar por cada bolsa, utilizar gran espacio en la planta para su almacenamiento y se desperdicia resina y carbonato en la manipulación de las mismas.

Se comprobó según estudios realizados por la misma empresa que el 95% de los problemas de producción provienen de la parte de elaboración del compuesto, la cual se lleva a cabo en el mezclador que es operado por dos personas, una encargada de alimentarlo y otra de recoger el producto mezclado o compuesto, la no sincronización de estas personas resulta en que se acumula material en el enfriador del mezclador causando múltiples retrasos el proceso.

Con la automatización del proceso de llenado y vaciado del mezclador MCR 840/100, la empresa TUVINIL DE COLOMBIA S.A. podrá utilizar big bags de 860 Kg de resina PVC y 625 Kg para el carbonato de calcio sugeridos por los

proveedores y alimentar el mezclador extrayendo mediante un sistema de control automático las cantidades a utilizar según la fórmula para fabricar un lote de compuesto. La presentación en big bags resulta mas práctica para la empresa por que se disminuye el valor pagado por la presentación del producto, se ahorra espacio de almacenamiento y ahorra pérdidas de material debido a la manipulación del mismo, y a su vez eliminará los retrasos en el proceso debido a la intervención humana.

## **1. GENERALIDADES ACERCA DEL PROCESO DE MEZCLADO DE LA EMPRESA TUVINIL DE COLOMBIA S.A.**

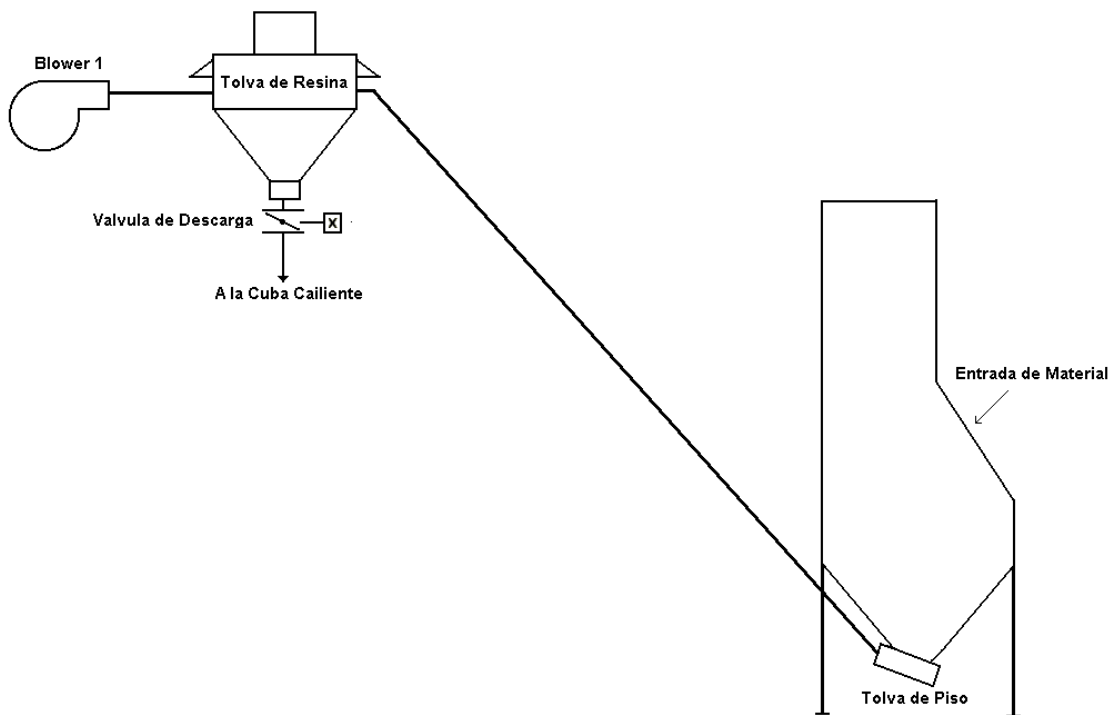
La empresa TUVINIL de Colombia S.A. se dedica a la fabricación de tubería en PVC y Polietileno. En sus instalaciones se cuenta con una planta de elaboración de compuesto, que es el material con que se fabrican las diferentes tuberías en PVC.

El compuesto se prepara en el mezclador MCR 40/100, el cual realiza una secuencia única interna para el procesamiento de los aditivos que conforman el compuesto.

### **1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL DE MEZCLADO**

Un operador se encarga de depositar en una tolva de piso la cantidad de resina PVC necesaria según la fórmula del compuesto a elaborar. A continuación, la misma persona activa un sistema de succión (Blower N°1) que transporta el material desde la tolva de piso hasta otra ubicada en la parte superior del mezclador (ver figura 1), donde se almacena hasta que se da la orden de inicio

del proceso de mezclado mediante un interruptor (START BACHT) accionado por el mismo operador.



**Figura 1.** Sistema actual de carga de resina PVC.

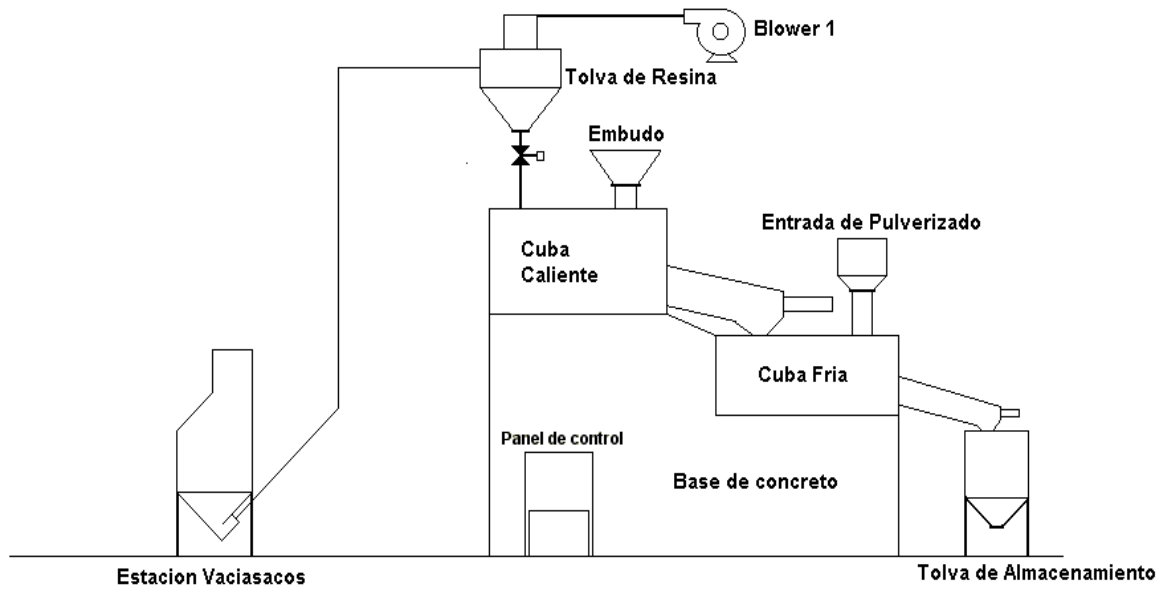
A continuación, la resina PVC cae en el interior de la cuba caliente del mezclador, que tiene una temperatura inicial de 76 °C..

El material se agita con el movimiento de las aspas que posee la cuba caliente en su interior y su temperatura aumenta gradualmente, cuando esta alcanza los 85 °C, el operador deposita en la cuba caliente (por intermedio de un embudo que

esta posee en su exterior) la cantidad de carbonato de calcio sugerida por la formula del compuesto. Al alcanzar esta mezcla los 96°C se agregan manualmente los estabilizantes, colorantes y aglutinantes.

Finalmente, cuando se alcanzan los 106 °C el compuesto pasa automáticamente a la cuba fría del mezclador, que disminuye la temperatura del material a 50 °C para luego ser descargado en una tolva de almacenamiento, de donde se extrae el material en forma manual por otro operador que lo empaca en bolsas de 16 Kg y almacena por lotes.

En algunos casos, cuando la temperatura de la cuba fría alcanza los 55 °C se le agrega a la mezcla, pulverizado, que no es mas que material reciclado de tubería que no cumplió con las especificaciones de calidad necesarias para satisfacer el mercado. Esta tubería se muele, pulveriza y clasifica según el compuesto con el que se elaboró y se agregan en la elaboración de nuevos compuestos en cantidades que van desde 20 a 60 Kg.



**Figura 2.** Disposición de los elementos existentes del mezclador MCR 40/100

## 1.2 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO ACTUAL DE MEZCLADO

Después de haber realizado las mediciones necesarias para el diseño del sistema de alimentación y descarga del mezclador, se elaboró una tabla donde se presentan los tiempos promedio de ejecución de los eventos que acontecen durante la elaboración de un lote y se determina la correspondiente temperatura.

**Cuadro 1.** Secuencia de eventos que suceden durante la alimentación y elaboración de compuesto en el mezclador

<b>EVENTO</b>	<b>DURACIÓN</b>	<b>TEMPERATURA</b>
Succión de resina hasta la tolva ubicada en la parte superior del mezclador	3 min 15 seg.	-
Caída de resina pvc a la cuba caliente	-	76 °C
Tiempo que demora en cerrarse la válvula de descarga de resina pvc	43 seg.	-
Caída de carbonato de calcio	5 seg.	85 °C
Tiempo de agitación cuba caliente	7 min.	-
Traspaso de mezcla a cuba fría		106 °C
Tiempo de agitación en la cuba fría	8 min.	-
Caída de pulverizado	8 seg.	55 °C
Traspaso a la tolva de almacenamiento	-	50 °C
Tiempo total de elaboración de lote	15 min.	-



## **2. DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE CONTROL**

Empresas dedicadas a la transformación del plástico, como es el caso de GERFOR, RALCO y ROYALCO, han evolucionado sus líneas de producción mediante el almacenamiento de materia prima en silos y su posterior transporte hacia la maquinaria de procesamiento mediante redes de transporte de material.

Debido al reducido espacio de las instalaciones de la empresa TUVINIL de Colombia S.A, a los altos costos de implementación de los silos y sus respectivos sistemas de transporte neumático, es conveniente utilizar un sistema de manejo de materiales a menor escala como es el caso de los big bags, ya que es una alternativa mas económica y operacionalmente mas acorde con las características de la planta. Estos ocupan menos espacio y su transporte hasta los puntos de alimentación y almacenamiento final se puede realizar mediante montacargas y Pallet Jacks con que cuenta la empresa.

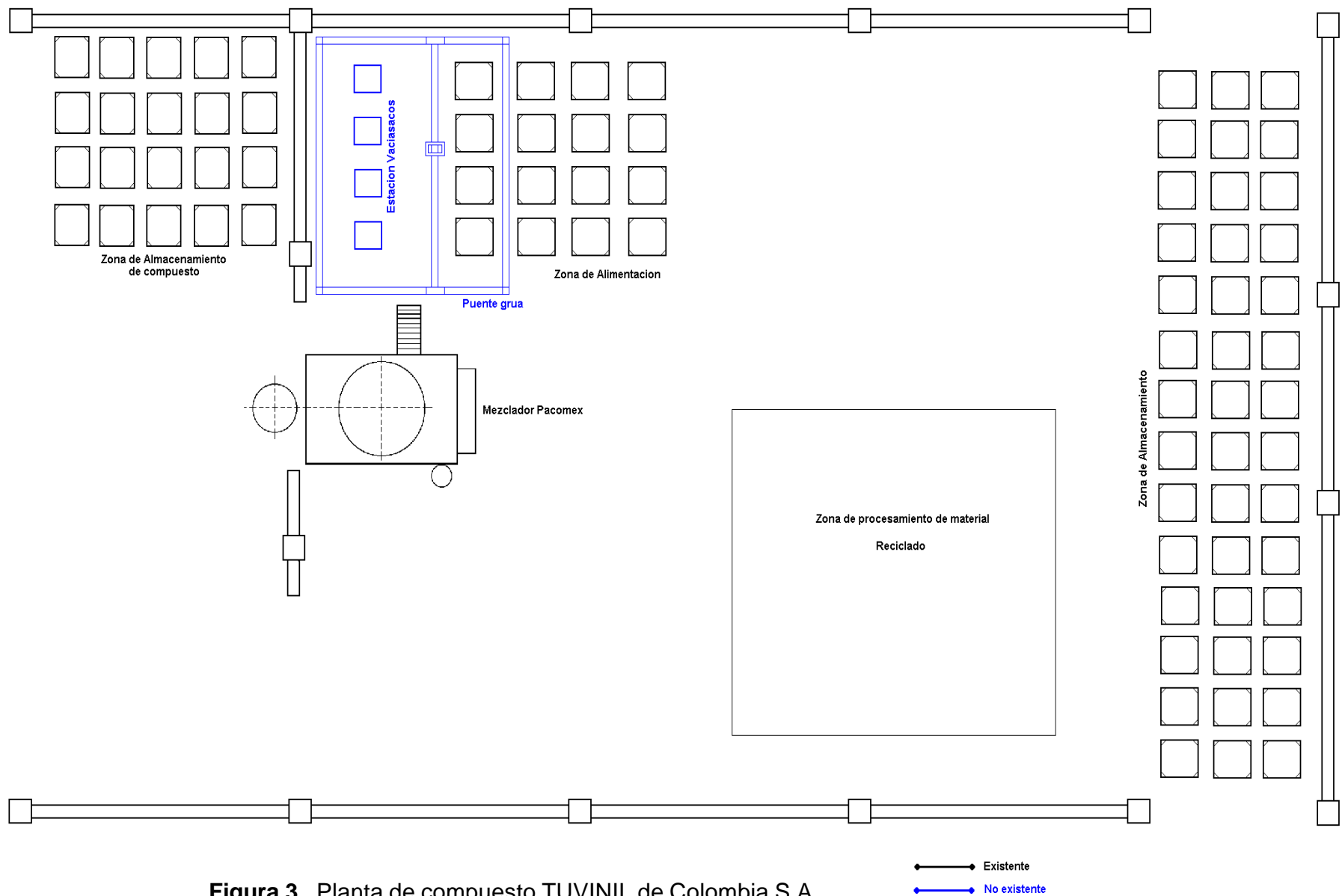
Basados en los estudios realizados acerca de los sistemas de manejo de material en las empresas anteriormente mencionadas, se expone a continuación una

estrategia de control diseñada para alimentar y descargar el mezclador de compuesto MCR 40/100 de la empresa TUVINIL de Colombia S.A., mediante la utilización de big bags.

## **2.1 ALIMENTACIÓN Y DESCARGA DEL MEZCLADOR MCR 40/100 MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE BIG BAGS**

La empresa TUVINIL de Colombia S.A. recibirá la materia prima para la elaboración de compuesto, en supersacos ó big bags de 860 y 625 Kg. para la resina PVC y carbonato de calcio respectivamente.

Para el almacenamiento de dicha materia prima, la empresa ha destinado un espacio en la planta (ver figura 3), y según la orden de producción, se transporta dicho material a la zona de alimentación del mezclador mediante montacarga o Pallet Jack según la disponibilidad de cada uno. En el caso de utilizarse pulverizado, este se almacenará en big bags con capacidad para 625 Kg. y en el lugar asignado por la empresa para luego ser transportado hasta la zona de alimentación.

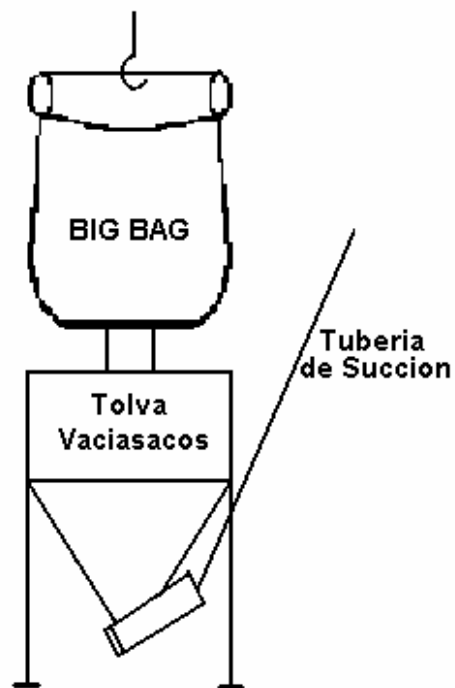


**Figura 3.** Planta de compuesto TUVINIL de Colombia S.A.



**Figura 4.** Transporte de big bags hasta la zona de alimentación

Una vez el material se encuentra en la zona de alimentación, se debe utilizar un sistema de carga para posicionar el big bag en las tolvas vacías, que almacenarán el material para su posterior succión. Ver figura 5.



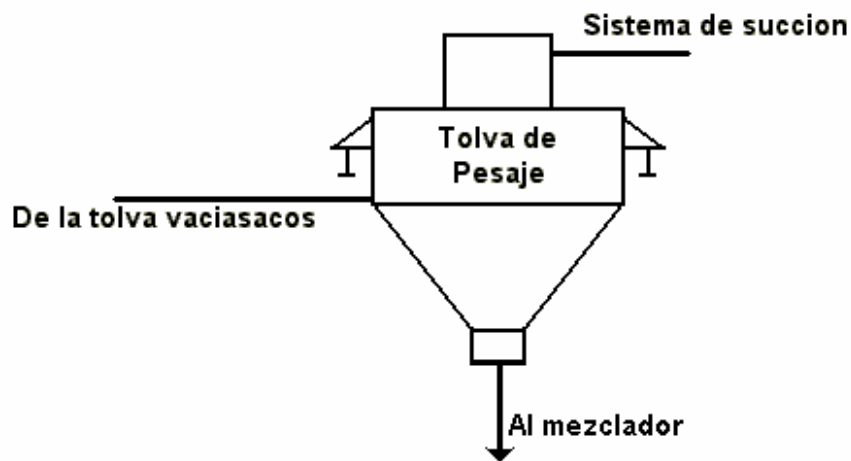
**Figura 5.** Descarga del big bag en la tolva vaciasacos

Debido a que en el sistema actual para la alimentación del mezclador se manejan bolsas de hasta 25 Kg., la empresa no cuenta con el sistema para el posicionamiento de big bags en las tolvas vaciasacos. Además, como ya se mencionó anteriormente se cuenta con una tolva vaciasacos para la resina PVC que debe ser rediseñada para adaptarla al nuevo sistema. Las tolvas vaciasacos de los aditivos utilizados en la mezcla conformarán la estación vaciasacos. Ver figura 3.

Una vez el material se encuentra en las tolvas vaciasacos, se debe transportar hasta la parte superior del mezclador, lo cual se llevará a cabo mediante un sistema de succión, que para el caso de la resina ya existe. Para el transporte de los demás aditivos, se

utilizará un dispositivo de características similares.

En la parte superior del mezclador se encontrarán las tolvas de pesaje, estas recibirán el material proveniente de las tolvas vaciasacos y mediante un sistema de pesaje almacenarán la cantidad adecuada de material hasta su posterior descarga en las correspondientes cubas del mezclador. Ver figura 6.



**Figura 6.** Tolva de pesaje

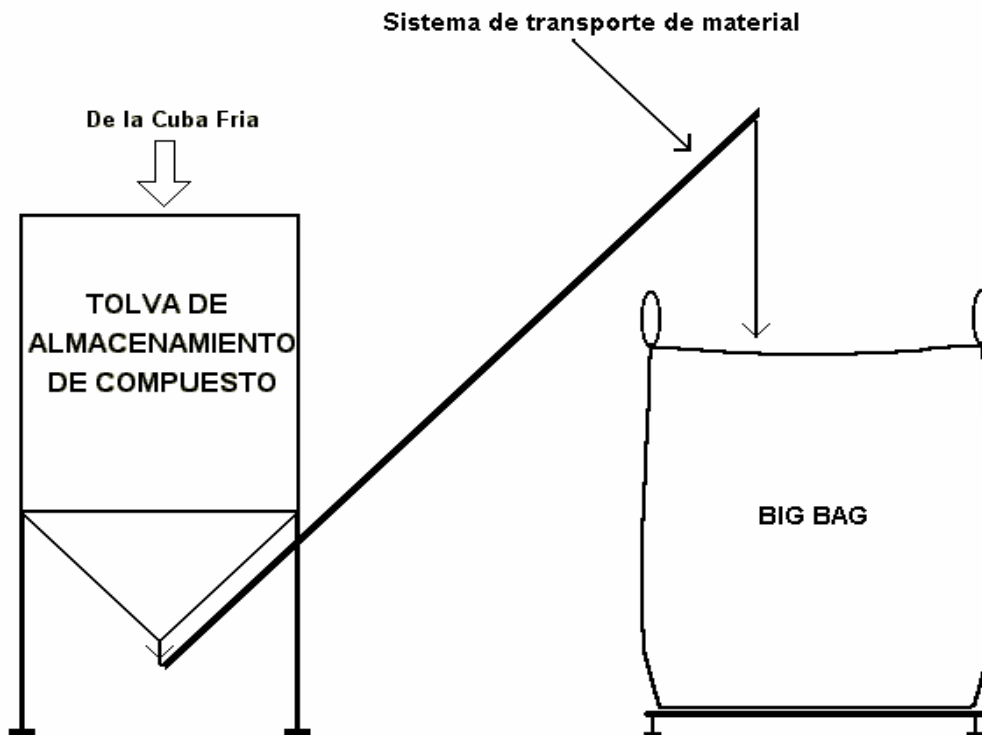
Actualmente, en la parte superior del mezclador se encuentra la tolva de resina PVC, la cual no cuenta con un sistema de pesaje. Las tolvas para los demás aditivos deben ser diseñadas y provistas, junto con la existente para la resina PVC, de un sistema de pesaje.

El control de flujo de material a través del sistema de alimentación y descarga al

mezclador se realizará por medio de válvulas. Para el caso de la descarga de la resina PVC al mezclador, la tolva correspondiente está provista de una válvula que no será modificada con la nueva estrategia del control.

Para descargar los aditivos en las correspondientes cubas del mezclador a las temperaturas adecuadas se utilizará el sistema de monitoreo de temperatura existente en el mezclador.

La tolva de almacenamiento de compuesto existente a la salida del mezclador debe ser modificada, debido a que se le deberá acoplar un sistema de transporte de material para llevar el compuesto terminado al big bag de almacenamiento final. El cual será el cual debe ser pesado para que el material entrante no exceda su capacidad.



**Figura 7.** Descarga de compuesto proveniente del mezclador

Una vez se llega a la capacidad máxima de almacenamiento del big bag, se debe conducir hacia la zona de almacenamiento de compuesto. Ver figura 3.

En los capítulos posteriores se realizará el diseño de cada una de las unidades funcionales que conforman el nuevo sistema de alimentación y descarga del mezclador.



### **3. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE RESINA, CARBONATO Y PULVERIZADO**

Para la elaboración de los compuestos utilizados en la fabricación de la tubería PVC, la empresa TUVINIL de Colombia S.A. utiliza dos tipos de resina; la PVC 440 y la PVC 35, además del carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), el pulverizado y otros aditivos en menor proporción.

Con el nuevo sistema de alimentación del mezclador, se planea utilizar big bags para las resinas PVC, carbonato de calcio y pulverizado, los demás aditivos se seguirán agregando a la mezcla en forma manual.

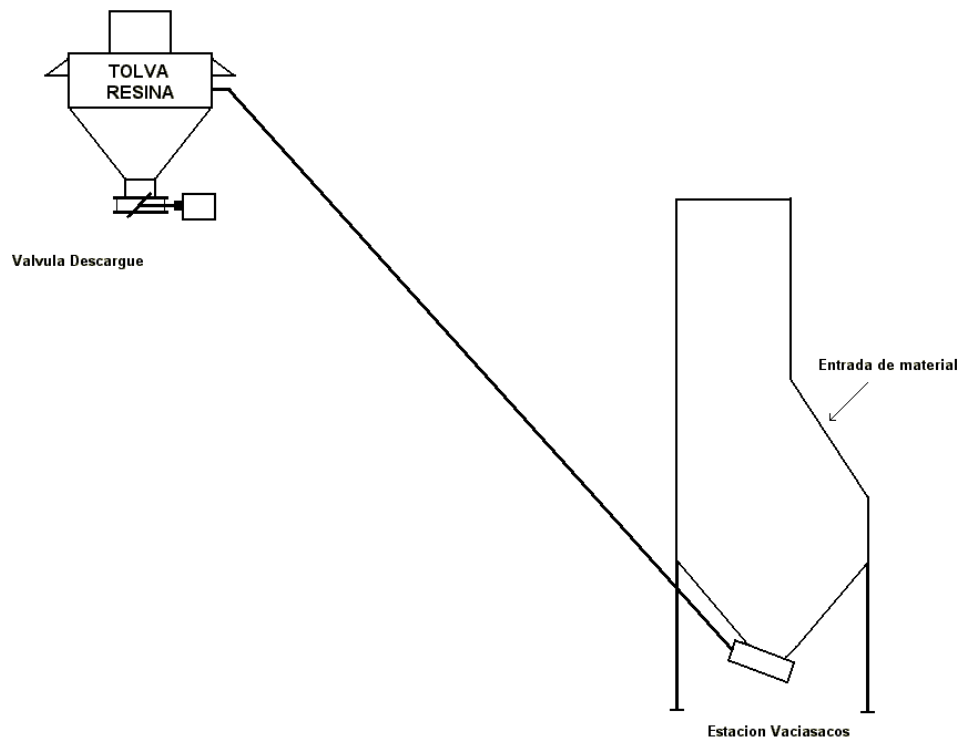
Una vez los big bags de resina PVC, carbonato de calcio y pulverizado se encuentran en la zona destinada por la empresa para su almacenamiento, estos se deben transportar hacia la zona de alimentación del mezclador según las órdenes de producción. Una vez se encuentran en este lugar, se debe utilizar un sistema de carga con capacidad para desplazarlos y posicionarlos en las tolvas vacías, el cual consistirá en un puente grúa con capacidad de 1.5 Ton. suficiente para transportar los big bags (ver figura 3).

Para detalles acerca de la selección del equipo consultar trabajo de grado “DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA PARA LA PLANTA DE PVC DE TUVINIL DE COLOMBIA S.A.”

### **3.1 TOLVAS VACIA-SACOS**

De acuerdo a estudios realizados en diseños previamente, se llegó a la conclusión de que la manera más segura de transportar el material hasta las tolvas localizadas en la parte superior del mezclador es depositando el contenido del big bag en una tolva vacia-sacos para su posterior succión.

Actualmente, se cuenta con una estación vaciasacos y un transportador neumático para llevar la resina PVC hasta la respectiva tolva.



**Figura 8.** Esquema de la estación vaciasacos actual

Dicho sistema debe ser rediseñado debido a que en el nuevo sistema los aditivos utilizados en la fabricación del compuesto deben también ser transportados hasta la parte superior del mezclador para su posterior descarga al mismo.

Debido a que en el proceso de mezclado se utilizan 2 resinas PVC, carbonato de calcio y en algunas ocasiones pulverizado, se deben utilizar 4 tolvas vacia-sacos con capacidad para 500 litros (Para detalles acerca del diseño de dichas tolvas, consultar tesis " DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA PARA LA PLANTA DE PVC DE TUVINIL DE COLOMBIA S.A."). Se debe asegurar que estas contengan el material suficiente cuando se inicie la succión, para lo

cual, dichas tolvas estarán provistas de un sensor de nivel que alertará a la unidad de control de la presencia de suficiente material en la misma.

En el mercado existe una gran variedad de sensores de nivel de para aplicaciones con sólidos:

Sensor de nivel de radiofrecuencia: estos sensores normalmente se instalan en la parte superior de los elementos de almacenamiento, de donde envían una señal de RF que es reflejada por el material almacenado y recibida por el mismo sensor, para luego calcular la distancia (nivel), con el tiempo que demoró la onda en retornar. Este tipo de sensores son costosos y además no son los mas adecuados para la aplicación debido que en ningún caso se requiere el control continuo de nivel.

Sensores capacitivos: Estos sensores son ampliamente utilizados en el control discreto de nivel de sólidos, se instalan en las paredes de los elementos de almacenamiento y trabajan bajo el principio de la variación de la capacitancia; cuando se introduce un dieléctrico entre las placas de un condensador, se cambia el estado de un contactor. Estos sensores son económicos pero no son los apropiados para la aplicación debido a la naturaleza adhesiva de los materiales manejados, los cuales pueden acumularse en el cuerpo del sensor y así proporcionar lecturas erróneas del nivel de la tolva.

Sensores de paleta rotativa: Estos sensores son ampliamente utilizados para el

control de nivel de sólidos, pueden ser instalados tanto en la parte superior como en las paredes del elemento de almacenamiento. Su funcionamiento se basa en la rotación a baja velocidad de una paleta, que al entrar en contacto con el material, se detiene, cambiando el estado de un contacto. Este sensor representa la mejor alternativa debido a que el constante movimiento de las paletas impide la adhesión de los materiales a esta lo cual elimina la posibilidad de lecturas erróneas.

De las hojas técnicas ofrecidas por el fabricante Endress+Hauser se seleccionó el solidswitch FTE 31. Sus principales características se encuentran en cuadro 2. Para mayor información consultar el anexo A.

**Cuadro 2.** Principales características técnicas FTE 31

<b>FTE 31</b>	
<b>Voltaje de alimentación</b>	20....28VDC
<b>Consumo de potencia</b>	<3.5W
<b>Corriente de alimentación</b>	$I_{max} < 66\text{Ma}$
<b>Salida</b>	NO/NC



**Figura 9.** Solidswitch FTE 31

### **3.6 UBICACIÓN DE LOS SENSORES DE NIVEL EN LAS TOLVAS VACIASACOS**

En la fórmula de los distintos compuestos que elabora la empresa TUVINIL de Colombia S.A. se requieren distintas cantidades de material. Para efectos de la ubicación del sensor se elige la cantidad máxima requerida en cada material cada fórmula.

Para el caso de la resina PVC 440, de la cual se utiliza un máximo de 125Kg se tiene que:

La densidad de esta es de  $520\text{Kg/m}^3$ , por lo tanto una cantidad de  $125\text{Kg}$  ocuparía un volumen de  $0.240\text{m}^3$

Debido a la forma piramidal de la tolva se tiene que el volumen que alberga la parte inferior de la misma viene dado por:

$$V_{\text{piramidet runcada}} = \frac{1}{3} h * (A + A' + \sqrt{A * A'})$$

donde:

A = Área de la sección menor

A' = Área de la sección mayor

h = Altura

De la figura 2.2 se tiene que:

$$h = 0.42\text{m}, A = 0.0625\text{m}^2, A' = 0.81\text{m}^2 \text{ por lo que } V_{\text{piramidet runcada}} = 0.1536\text{m}^3.$$

Por lo que la parte superior debe albergar el excedente:

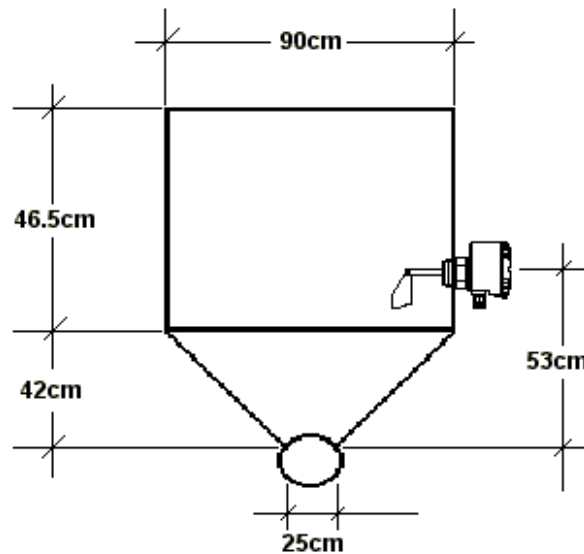
$V_{\text{restante}} = V_{125\text{Kg}} - 0.1536\text{m}^3 = 0.086 \text{ m}^3$  la altura ocupada por el material en la parte superior de la tolva viene dado por:

$$h = \frac{V_{\text{res tante}}}{A'} = \frac{0.086}{0.81} = 0.1061 \text{ m}$$

Por lo tanto la altura total desde la boca de la tolva es:

$$h_{total} = 0.1061 + 0.42$$

$$h_{total} = 0.53m$$



**Figura 10.** Localización del sensor de la tolva vaciasacos para la resina PVC 440

Teniendo en cuenta la densidades de los otros materiales y siguiendo el procedimiento anterior se obtienen las alturas para la instalación del sensor en las tolvas de resina PVC 35, Carbonato de calcio, y pulverizado:

Para la resina PVC 35:

La densidad de esta es de  $530\text{Kg/m}^3$ , por lo tanto una cantidad de 50 Kg ocuparía un volumen de  $0.094.\text{m}^3$



De la expresión para el volumen de la pirámide truncada, igualando el volumen a  $0.094 \text{ m}^3$  se obtiene  $h = 25.79 \text{ cm}$

Para el Carbonato de calcio:

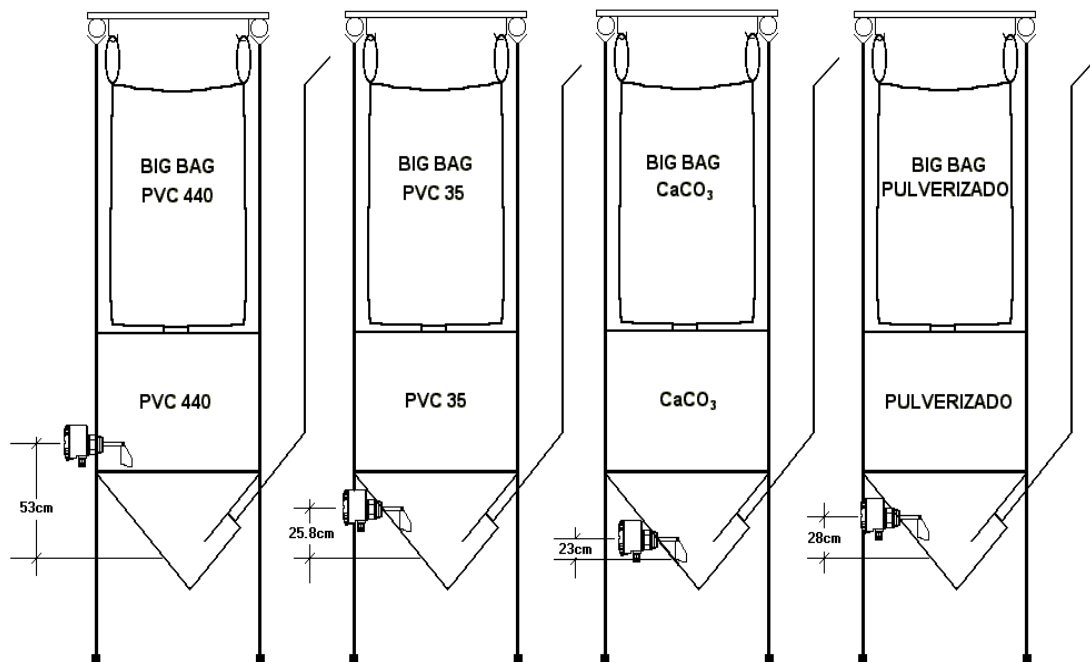
La densidad de este es de  $590 \text{ Kg/m}^3$ , por lo tanto una cantidad de  $50 \text{ Kg}$  ocuparía un volumen de  $0.084 \text{ m}^3$

De la expresión para el volumen de la pirámide truncada, igualando el volumen a  $0.084 \text{ m}^3$  se obtiene  $h = 23 \text{ cm}$ .

Para el pulverizado:

La densidad de esta es de  $585 \text{ Kg/m}^3$ , por lo tanto una cantidad de  $60 \text{ Kg}$  ocuparía un volumen de  $0.102 \text{ m}^3$

De la expresión para el volumen de la pirámide truncada, igualando el volumen a  $0.102 \text{ m}^3$  se obtiene  $h = 28.04 \text{ cm}$

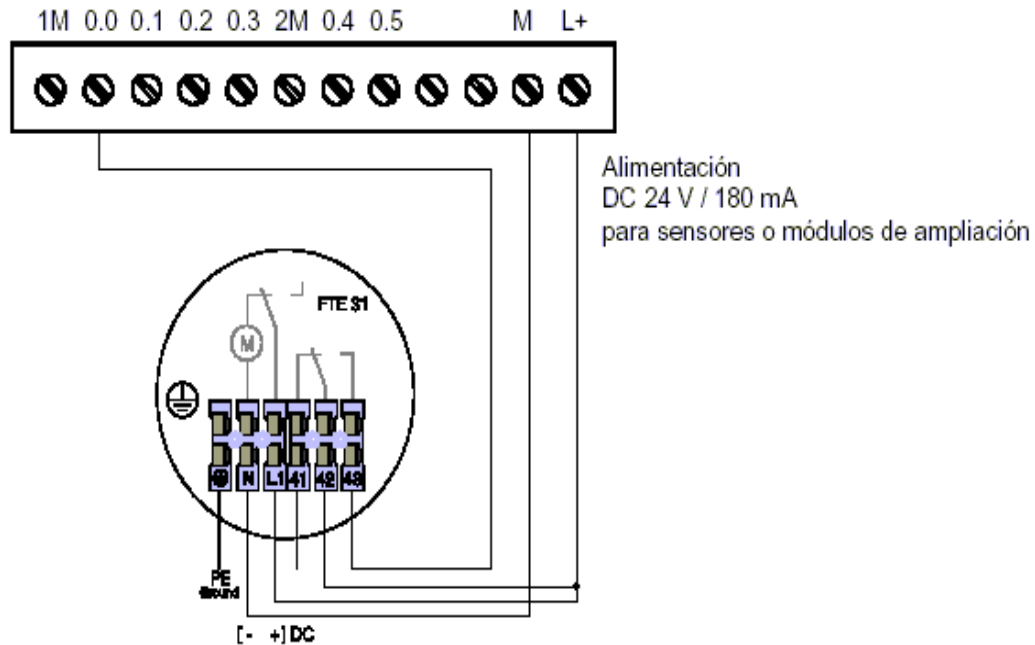


**Figura 11.** Ubicación de los sensores de nivel en las tolvas vacia-sacos

### 3.7 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL PROVENIENTE DE LOS SENSORES DE NIVEL

Según las hojas técnicas del fabricante, el FTE31 debe ser alimentado con 24 Vdc para energizar el motor que hace girar la paleta. Cuando el material alcanza el nivel deseado, el switch de nivel envía una señal discreta al de 24 Vdc mediante la conexión mostrada en la figura 12.

Para las conexiones entre el sensor y el PLC se utiliza cable apantallado multipar de 5 hilos AWG 20 ó 18.



**Figura12.** Esquema de funcionamiento del FTE 31

### 3.4 UNIDADES DE SUCCIÓN

Para el transporte del material desde las tolvas vacia-sacos hasta las ubicadas en la parte superior del mezclador, se hará uso de unidades de succión o blowers, los cuales son ampliamente utilizados en la industria para realizar esta tarea.

El sistema completo consta de un arreglo de tuberías, que conecta los puntos inicial y final del trayecto y un motor que provoca la succión. Los fabricantes ofrecen una gran variedad de este tipo de sistemas para ajustarse a las características del material que se va a transportar, que en el peor de los casos es

granulado.

Algunas de las características que se deben tener en cuenta para la selección de dicho sistema son: las características propias del material a transportar, capacidad transporte requerida, número de fuentes, número de destinos, diámetro de la tubería a utilizar, número de curvas del trayecto y las distancias máximas de transporte (horizontal y vertical).

**3.4.4 Blower N°1.** Actualmente la empresa TUVINIL de Colombia S.A. cuenta en sus instalaciones con un sistema de succión para el transporte de la resina PVC desde la estación vaciasacos actual hasta la tolva de almacenamiento ubicada en la parte superior del mezclador, utilizando una tubería en acero inoxidable de 2½ in. de diámetro.

Este sistema será adecuado a la nueva estrategia de control, transportará las resinas PVC 440 y 35 hasta la tolva de pesaje y tiene una capacidad de transporte de material de 0.64 Kg/seg, lo que quiere decir que la máxima cantidad de resina PVC que se puede utilizar en una fórmula (125Kg), es transportada hasta la tolva en un tiempo de 3 minutos 15 segundos aproximadamente. La cuadro 3 muestra las características del motor de dicho blower.

**Cuadro 3.** Características del motor del blower N°1

<b>MOTOR BLOWER N°1</b>				
<b>V</b>	<b>P</b>	<b>In</b>	<b>Fases</b>	<b>Hz</b>
220V	5.5KW	21.2A	3	60

**3.4.5 Blower N°2.** Para el transporte de los elementos restantes (carbonato de calcio y pulverizado) se deberá utilizar otro sistema de succión de menor capacidad de transporte de material debido a que las cantidades a manejar serán menores (oscilando entre 40 y 60Kg). Para la selección del blower se deben tener en cuenta los parámetros anteriormente señalados. Por lo tanto, de los catálogos suministrados por el fabricante Cole Parmer se seleccionó el blower de referencia U-79605-60 cuyas principales características se encuentran En el anexo A.

Este maneja una capacidad de transporte de material de 0.27Kg/seg en una tubería de 2½ in, lo que quiere decir la cantidad máxima de Carbonato de calcio (40Kg) es transportada en 2 minutos 27 segundos, y la de pulverizado (60Kg) en 3 minutos 42 segundos.

Para detalles de la selección de este componente, consultar tesis de grado "DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA PARA LA PLANTA DE PVC DE TUVINIL DE COLOMBIA S.A."

La cuadro 4 muestra las características eléctricas del motor del blower

seleccionado.

**Cuadro 4.** Características eléctricas del motor del blower N°2

<b>MOTOR BLOWER N°2</b>				
<b>V</b>	<b>P</b>	<b>In</b>	<b>Fases</b>	<b>Hz</b>
220V	6.3KW	24 <sup>a</sup>	3	60

**3.4.6 Mando de los motores de los sistemas de succión.** Para el mando de los motores de las unidades de succión, la unidad de control debe suministrar la señal de activación del blower que según valores normalizados pueden ser de 24 Vdc ó 110/220 Vac, pero debido a que la corriente necesaria para encender el motor y mantenerlo en ese estado es muy alta (ver cuadro 4), y considerando las protecciones necesarias para el motor, se hace uso del arrancador, el cual se conecta directamente a la red eléctrica y sus estados igualmente pueden ser suministrados por la unidad de control.

Para las conexiones eléctricas de los motores el conductor eléctrico elegido debe soportar el 125% de la corriente de placa del motor.

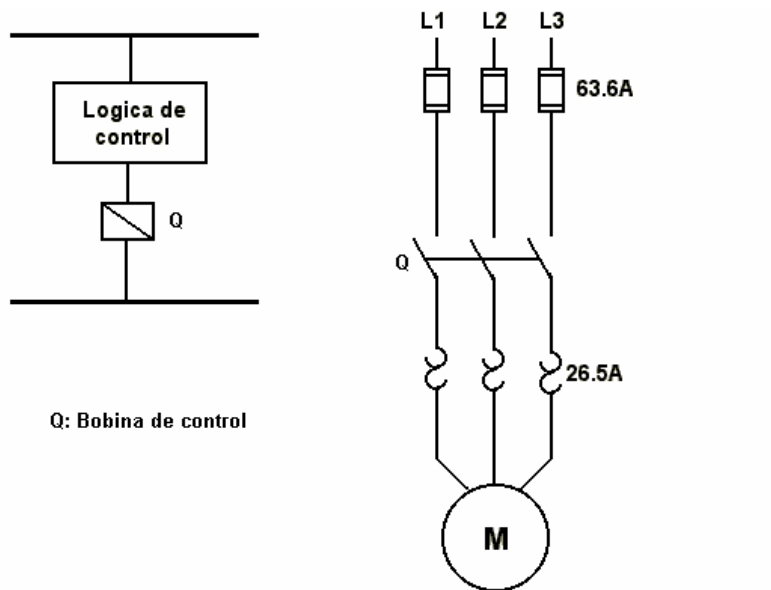
En el caso del blower N°1 se tiene que la corriente de placa es 21.2 A, por lo tanto el conductor debe soportar una corriente de 26.5 A, basándose en las recomendaciones del Código Eléctrico Colombiano, se selecciona el conductor de

referencia AWG 10.

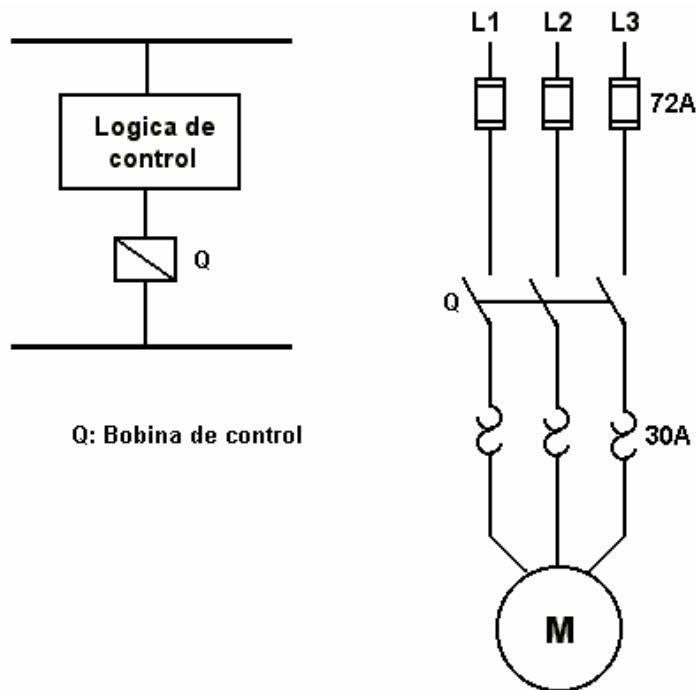
Para la selección del elemento de protección contra sobrecarga se debe seleccionar uno cuya capacidad de corriente no exceda el valor previamente calculado (26.5 A), y para la protección del circuito ramal contra corto circuito y contra falla a tierra, se recomienda que el fusible de protección debe tener una capacidad de 3 veces la corriente de placa del motor, por lo que este debe ser de 63.6 A.

En el caso del blower N°2 la corriente de placa es 24 A, por lo tanto el conductor debe soportar una corriente de 30 A, basándose en las recomendaciones del Código Eléctrico Colombiano, se selecciona el conductor de referencia AWG 10.

Para la selección del elemento de protección contra sobrecarga se debe seleccionar uno cuya capacidad de corriente no exceda el valor anteriormente calculado (30 A), y para la protección del circuito ramal contra corto circuito y contra falla a tierra, se recomienda que el fusible de protección debe tener una capacidad de 3 veces la corriente de placa del motor, por lo que este debe ser de 72 A.



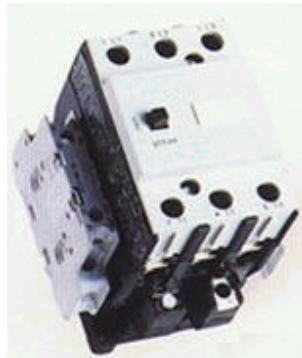
**Figura 13.** Protecciones para el motor del blower N°1



**Figura 14.** Protecciones para el blower N°2



Para el dimensionamiento del arrancador se tienen en cuenta las protecciones contra sobrecarga calculadas anteriormente. De los catálogos suministrados por el fabricante Siemens se selecciona el arrancador 3TF 4311 0A, que maneja una protección contra sobrecarga de 30 A.



**Figura 15.** Motor starter 3TF 4311 0A

#### **4. SELECCIÓN DE VALVULAS DE BLOQUEO**

Para el control del material que fluye hacia las tolvas de pesaje, almacenamiento y posterior descarga al mezclador se deben utilizar las válvulas apropiadas para dicha tarea.

Con el fin de que el sistema sea estable en caso de fallas, todas las válvulas deben ser normalmente cerradas (NC) para así cortar el flujo del material desde y hacia las tolvas.

Para el bloqueo del flujo de material transportado por los sistemas neumáticos, son comúnmente utilizados dos tipos de válvulas: Las tipo guillotina y las tipo mariposa. Las cuales diferencian únicamente en el tiempo en que logran la total apertura y bloqueo; debido a que la válvula de tipo guillotina debe recorrer el área transversal completa es más lenta que la tipo mariposa que solo debe recorrer la mitad de este espacio.

Ambos tipos se encuentran en el mercado con actuadores eléctricos, neumáticos, hidráulicos y manuales. De los cuales los eléctricos ofrecen una respuesta más rápida y además pueden ser proporcionales y de dos posiciones(on-off).

De acuerdo con las características de la aplicación a desarrollar, los actuadores on-off son la mejor alternativa debido a su rápida respuesta, fácil control y menor costo.

La exactitud en las cantidades de material transportado es primordial, por lo que se hace necesario la utilización de una válvula lo suficientemente rápida en conjunto con un actuador de las mismas características. Por tal motivo, todas las válvulas de bloqueo de flujo de material a utilizar serán del tipo mariposa con actuador eléctrico de dos posiciones.

De acuerdo con la selección de los blowers, el diámetro de las válvulas de carga de material debe ser de 2½." y para la descarga en el mezclador de 4" , esto consistente con las dimensiones de las salidas de las tolvas.

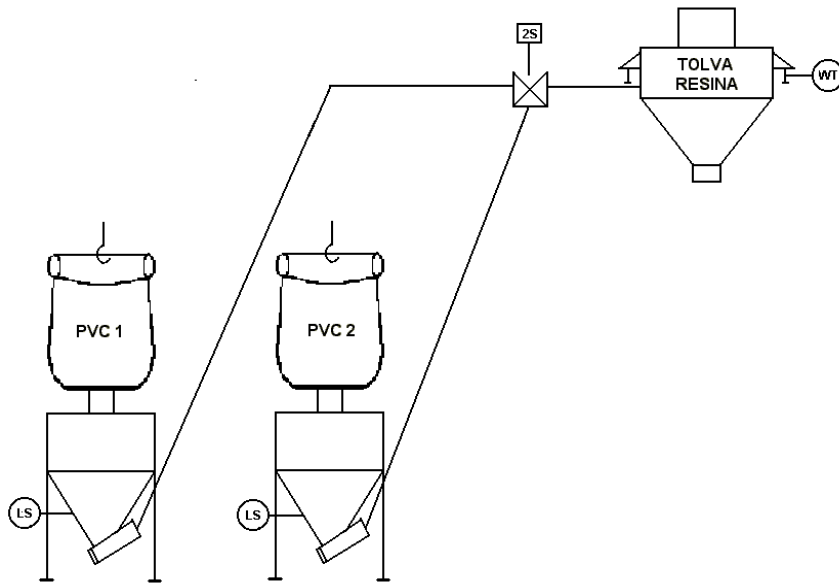
#### **4.1 VÁLVULAS DE CARGA Y DESCARGA DE RESINA PVC**

En la elaboración de sus distintos compuestos la empresa TUVINIL de Colombia S.A. utiliza dos tipos de resina PVC (440 y 35); siendo la elaboración del compuesto para inyección el proceso mas critico, ya que se deben utilizar los dos tipos de dicho material en la misma fórmula. Estas resinas son dosificadas en la misma cantidad (50 Kg.) y deben ser pesadas en la tolva destinada para tal fin. Debido a que seria poco práctico dosificar la primera de las resinas en la tolva de pesaje y luego cambiar el big bag en la estación vaciasacos por el que contiene la otra resina, se hace conveniente entonces la utilización de una válvula diversora o

de tres vías. Esta válvula posee dos entradas y una única salida; las entradas estarán conectadas a las estaciones vaciasacos y la salida a la entrada de la tolva.

Debido a que diámetro seleccionado para la tubería de succión es de 2 ½ in., la válvula tener esta misma característica

De los catálogos suministrados por el fabricante Dwyer se seleccionó la valvula de tres vías con dos actuadores eléctrico de dos posiciones (on-off) de referencia: 325-WFB-2516E1 cuyas principales características técnicas se encuentran en en I anexo C. Para efectos de control esta válvula debe poseer dos actuadores eléctricos, a fin de poder bloquear completamente el flujo de material hacia la tolva de pesaje de resina, estas características se especifican al fabricante a la hora de la adquisición.



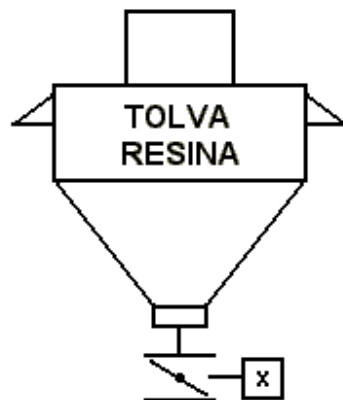
**Figura 16.** Esquema del sistema de carga de resina PVC.



**Figura 17.** Válvula diversora ref. 325-WFB-2516E1

Para la descarga de la resina PVC en la cuba caliente del mezclador, se cuenta con una válvula tipo mariposa de 4 in, con actuador electro-neumático, cuyos estados serán monitoreados por intermedio de la solenoide que habilita el flujo de

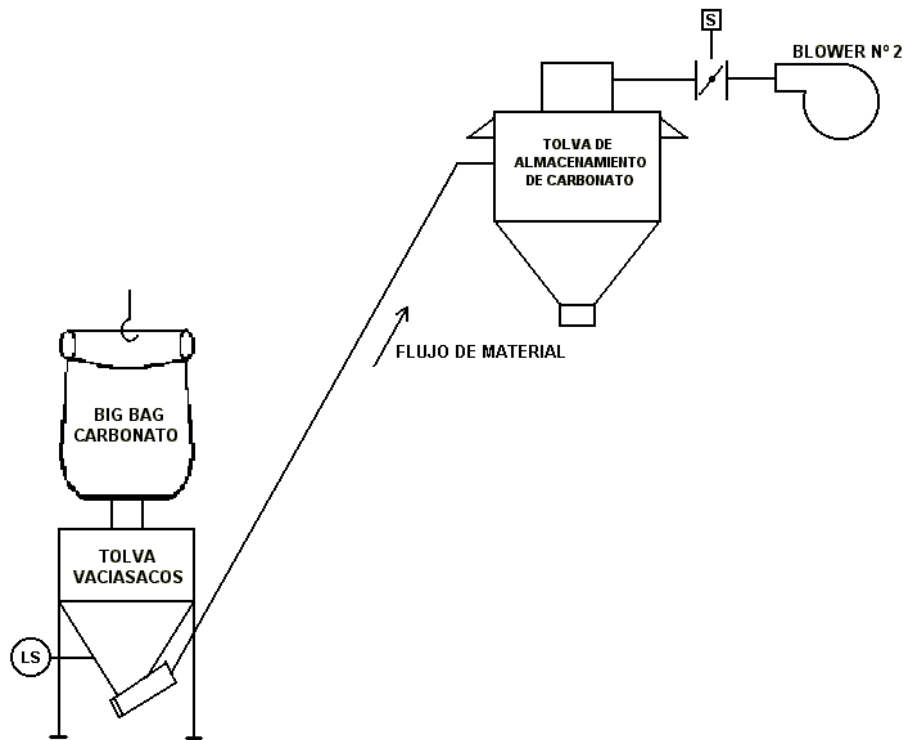
aire que activa el sistema neumático que la abre. La señal eléctrica que habilita esta solenoide proviene de la lógica interna del mezclador y es de 24 Vdc.



**Figura 18.** Válvula para descarga de resina PVC en la cuba caliente del mezclador

#### **4.2 VÁLVULAS PARA LA CARGA Y DESCARGA DEL CARBONATO DE CALCIO**

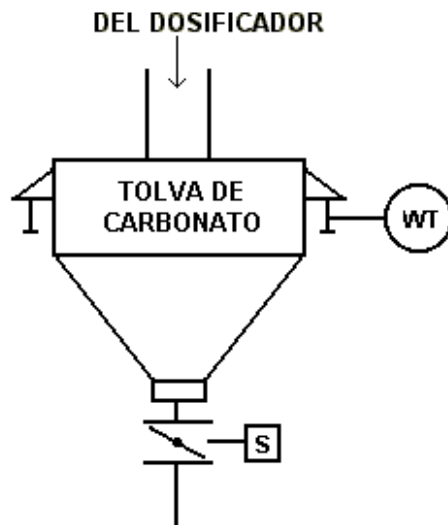
Para permitir el flujo de material hacia la tolva de almacenamiento de carbonato de calcio, se debe utilizar una válvula de bloqueo. De los catálogos suministrados por el fabricante Dwyer se seleccionó la válvula tipo mariposa de 2½ in. con actuador eléctrico de dos posiciones (on-off) de referencia: 225-WFB-2516E1 cuyas principales características técnicas se encuentran en el anexo C.



**Figura 19.** Esquema del sistema de carga del Carbonato de calcio.

Para el descargue del carbonato de calcio se proveerá al sistema de una válvula a la salida de la tolva de pesaje, por lo tanto la válvula debe tener un diámetro de 4 in.

De los catálogos suministrados por el fabricante Dwyer se seleccionó la válvula tipo mariposa de 4 in. con actuador eléctrico de dos posiciones (on-off) de referencia: 204-WFB-2516E2 cuyas principales características técnicas se encuentran en el anexo C.



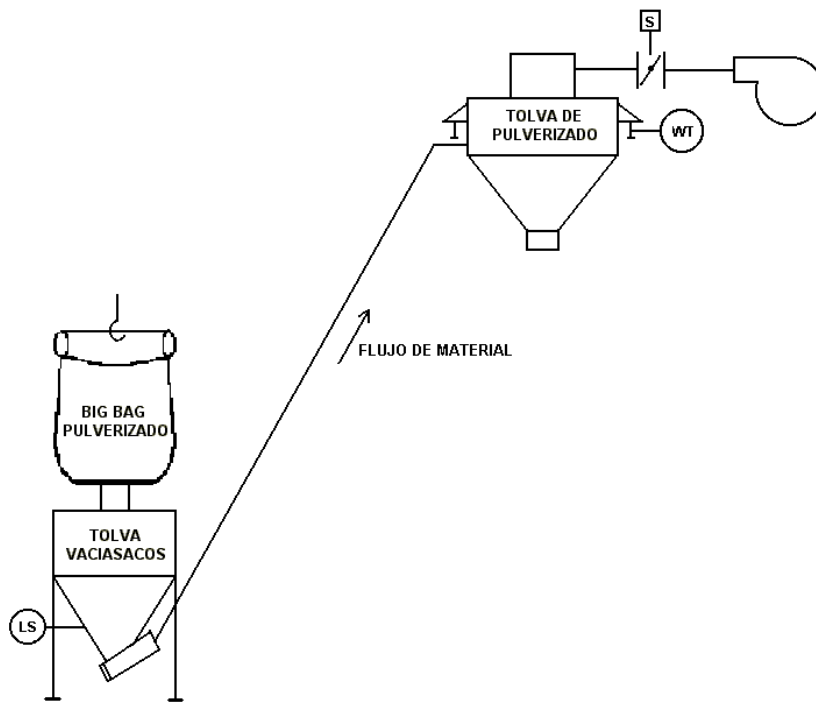
**Figura 20.** Válvula para descarga de carbonato en la cuba caliente del mezclador.

#### 4.3 VALVULAS PARA LA CARGA Y DESCARGA DEL PULVERIZADO

En el proceso de mezclado, también se utiliza material pulverizado o reciclado, el cual debe ser cargado y pesado, para luego ser adicionado a la mezcla en la cuba fría del mezclador. Para la carga, se permitirá el flujo de material hacia tolva correspondiente y se hará control del mismo mediante una válvula tipo mariposa de 2½ in.

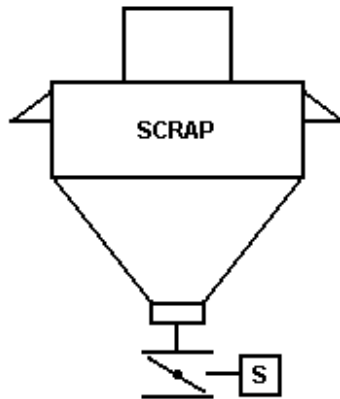
De los catálogos suministrados por el fabricante Dwyer se seleccionó la válvula tipo mariposa con actuador eléctrico de dos posiciones (on-off) de referencia: 225-WFB-2516E1 cuyas principales características técnicas se encuentran en el anexo C.





**Figura 21.** Esquema del sistema de carga del pulverizado.

Para la descarga del pulverizado en la cuba fría del mezclador se proveerá al sistema de una válvula de 4 in. de diámetro a la salida de la tolva. De los catálogos suministrados por el fabricante Dwyer se seleccionó la válvula tipo mariposa de 4 in. con actuador eléctrico de dos posiciones (on-off) de referencia: 204-WFB-2516E2 cuyas principales características técnicas se encuentran en el anexo C.



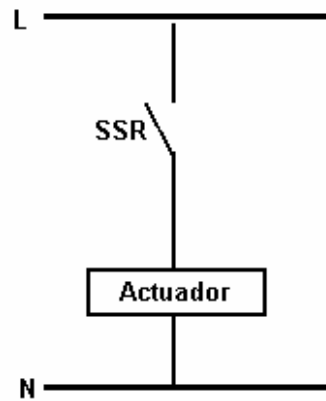
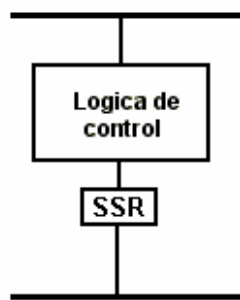
**Figura 22.** Válvula para descarga de pulverizado en la cuba fría del mezclador.

#### **4.4 MANDO DE LAS VÁLVULAS DE BLOQUEO**

El mando de las válvulas se llevará a cabo mediante relés de estado sólido (SSR), debido a que el ambiente polvoriento de planta de compuesto puede causar acumulaciones de residuos en los contactos de un relé mecánico. La señal de control para activar los SSRs será suministrada por la unidad de control.

Las características técnicas de las válvulas indican que estas consumen un máximo de 2 A en su maniobra, se selecciona un SSR de 5 A para cumplir con un margen de seguridad, el cableado a utilizar debe ser AWG 12.

La figura 23 muestra como la unidad de control maniobra el estado de la solenoide que actúa la válvula mediante una lógica de control interna del programa.



**Figura 23.** Esquema de conexión de las válvulas de bloqueo.

## **5. DISEÑO DEL SISTEMA DE PESAJE**

Para los sistemas de pesaje los dispositivos adecuados a utilizar son las celdas de carga, debido a que estas brindan un gran rango de medición, gran precisión, fiabilidad, velocidad y conectividad. Estas vienen especificadas principalmente por el rango de medida y el tipo de esfuerzo aplicado sobre ellas; cizallamiento, tracción y compresión.

Debido a la disposición mecánica de las tolvas y el rango de pesos manejados en las mismas se escogen las celdas que trabajan a cizallamiento.

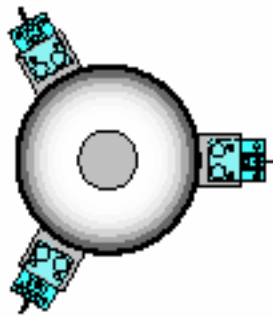
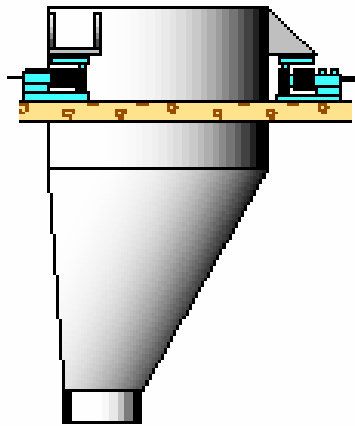
### **5.1 SISTEMA DE PESAJE PARA LA RESINA PVC**

Actualmente, el mezclador de compuesto MCR 40/100, propiedad de la empresa TUVINIL de Colombia S.A., posee una tolva cónica con capacidad de 700 litros para el almacenamiento temporal de resina PVC hasta su posterior vaciado en la cuba caliente del mismo.

En este proceso es indispensable la exactitud de la cantidad de resina que se deposita en dicha tolva, por lo que se hace necesario de el uso de dispositivos muy sensibles como lo son las celdas de carga.

Para propósitos de diseño, se debe tener en cuenta que las celdas de carga deben soportar el peso especificado por cada fórmula así como también el peso de la tolva y de la válvula de descarga.

La tolva existente tiene un peso aproximado de 170 Kg., la válvula de descarga tiene un peso de 20 Kg. y la máxima cantidad de resina PVC que se puede requerir para la elaboración de un compuesto es de 125 Kg. Además debido a la forma cónica de la tolva, se debe utilizar un arreglo de 3 celdas de carga espaciadas  $120^\circ$  mecánicas para que el peso del sistema se reparta uniformemente entre estas.



**Figura 24.** Montaje de las celdas de carga.

Según los datos anteriores, el peso que debe soportar cada celda de carga se calcula de la siguiente manera:

$$W_{celda} \geq \frac{W_{tolva} + W_{máx.re \sin a} + V_{válvula}}{3}$$

$$W_{celda} \geq \frac{170 + 125 + 20}{3}$$

$$W_{celda} \geq 105 \text{ Kg}$$

Con este valor se selecciona una celda de carga cuya carga nominal se encuentre

dentro del rango especificado. Del catálogo suministrado por el fabricante SCAIME, se selecciona la celda de carga de referencia F60X200 cuyas principales características se pueden ver en el cuadro 5. Para mayor información consultar el anexo D.

**Cuadro 5.** Características técnicas F60X200

<b>F60X200</b>	
<b>Carga Nominal C.N. (Kg)</b>	200
<b>Utilización Eléctrica (V)</b>	10-15
<b>Impedancia de entrada (W)</b>	385±20
<b>Impedancia de salida (W)</b>	350±5
<b>Sensibilidad nominal (Mv/V)</b>	2±1%

Según los parámetros suministrados por el fabricante, la carga nominal que soporta el arreglo de las 3 celdas de carga es de 600Kg., y el máximo peso que se puede presentar en la elaboración de un compuesto es de 315 Kg., por lo que el sistema soporta una sobrecarga de 190% C.N.



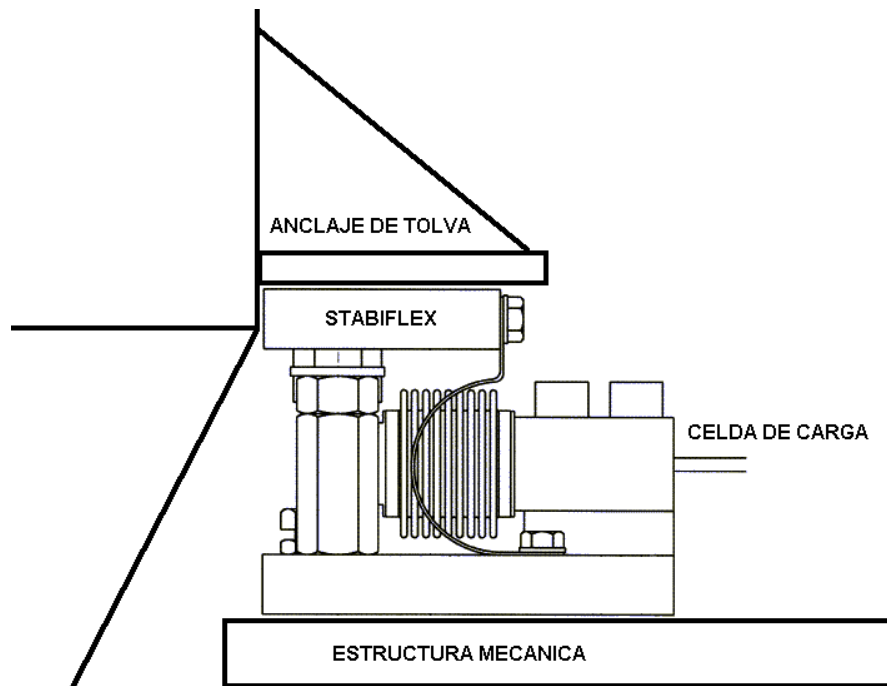
**Figura 25.** Celdas de carga serie F60X

Además, las celdas de carga se deben alojar en un dispositivo que les permita su correcta deflexión, que como protección a las mismas y a la vez es la plataforma ideal para su interfase con la tolva, el cual es conocido como STABIFLEX y también es suministrado por el fabricante SCAIME y su hoja técnica se puede encontrar en el anexo C.



**Figura 26.** Sistema Stabiflex.

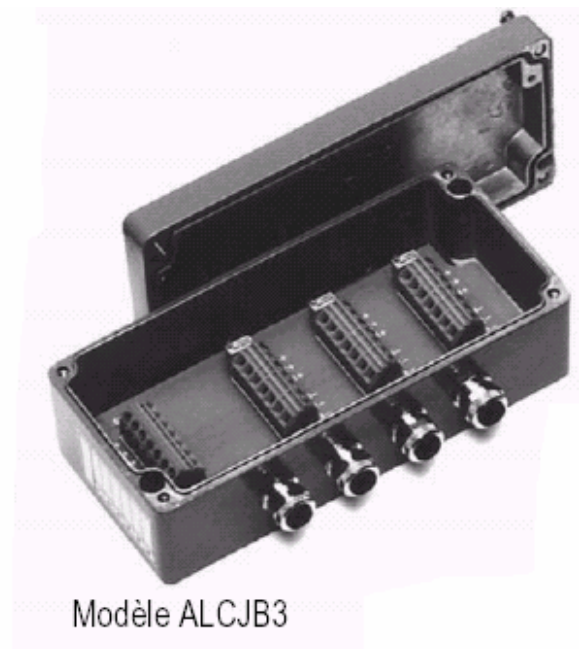




**Figura 27.** Detalle montaje de celda

El arreglo de las tres celdas de carga se conectan a un sumador de celdas de carga, que se encarga de recolectar la lectura de cada una de ellas y proporciona una señal analógica compuesta que luego será linealizada en el acondicionador de señales para ser enviada a la unidad de control.

De los catálogos del fabricante SCAIME se seleccionaron el sumador de celdas de carga de referencia ALCJB6 y el acondicionador de señales de referencia SMJ-CE cuyas características técnicas se encuentran en el anexo C.



**Figura 28.** Sumador de celdas de carga ALCJB3



**Figura 29.** Acondicionador de señales SMJ-CE

Con el propósito de proveer el voltaje de alimentación a las celdas de carga, se selecciona la fuente de alimentación de referencia QUINT-PS-230AC/24DC/1 de

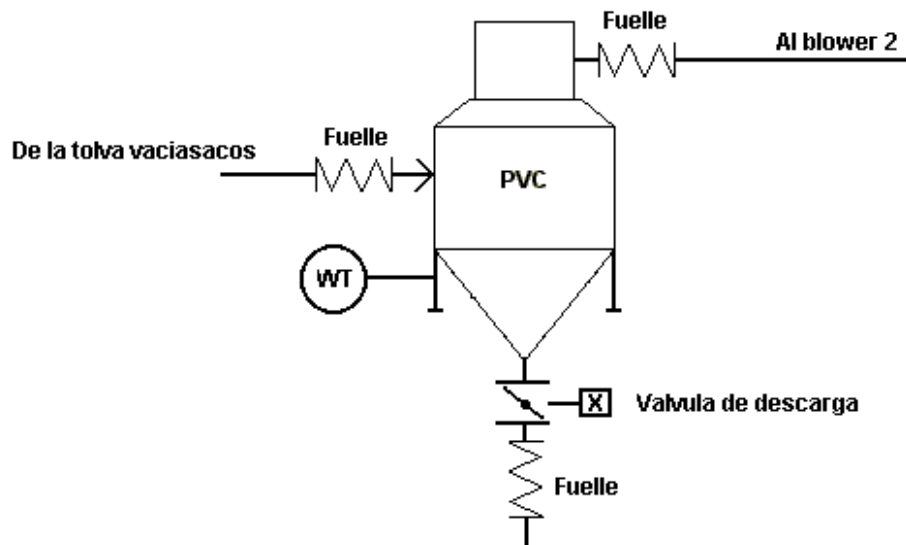
los catálogos ofrecidos por el fabricante PHOENIX CONTACT. Las características de este dispositivo se encuentran en el anexo C.



**Figura 30.** Fuente de alimentación QUINT-PS-230AC/24DC/1

Finalmente, con el objetivo de lograr la flexibilidad requerida para que las celdas de carga registren el peso correcto y a la vez garantizar el aislamiento mecánico de la estructura que soporta la tolva de pesaje de resina, sus respectivas celdas de carga y la válvula de descargue, se deben utilizar fuelles después de dicha válvula y en las interfaces entre las tuberías que transportan el material y la tolva.

Además para evitar la descalibración de las celdas de carga, por la continua vibración de la estructura mecánica durante el proceso de mezclado, su montaje debe permanecer aislado del resto del sistema, de tal manera que no exista transmisión de movimiento entre la estructura que soporta el sistema de pesaje de resina y la del mezclador.



**Figura 31.** Esquema del sistema de pesaje para la tolva de resina PVC.

## 5.2 SISTEMA DE PESAJE PARA EL CARBONATO DE CALCIO

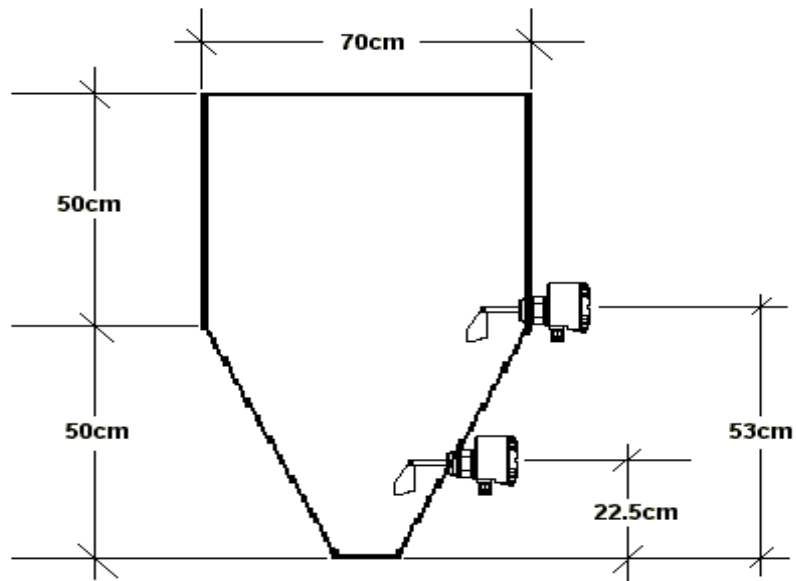
Por ser el carbonato de calcio el material que se agrega en menor proporción a la mezcla mediante el nuevo sistema automático (1-50Kg.), su procesamiento se ha dividido en 3 etapas, con la finalidad de lograr una mayor exactitud en su dosificación.

**5.2.1 Almacenamiento.** El nuevo sistema de control requiere una tolva de almacenamiento temporal para el Carbonato de calcio , tipo cilíndrico, con capacidad de 300 litros, cuya función es la de almacenar un determinado nivel de

este material (aproximadamente 50 Kg), hasta su posterior dosificación a la tolva de pesaje.

Esta tolva es necesaria ya que el tornillo dosificador se alimenta del material almacenado en la misma. Con el objetivo de cubrir la demanda de carbonato de calcio y así evitar errores en la dosificación, a esta tolva se le deben instalar dos sensores de nivel (nivel alto/bajo).

De acuerdo a los mismos criterios de selección utilizados para los sensores de nivel de las tolvas vaciasacos, de las hojas técnicas ofrecidas por el fabricante Endress+Hauser se seleccionó el solidswitch FTE 31. Sus principales características se encuentran en el cuadro 2. Para mayor información consultar el anexo A.



**Figura 32.** Localización de los sensores de nivel en la tolva de almacenamiento de  $\text{CaCO}_3$ .

Para calcular la posición exacta de los sensores de nivel, se parte del hecho de que la máxima cantidad de carbonato de calcio depositada en la tolva de almacenamiento será de 50 Kg, cantidad que se utiliza para determinar la posición del sensor de nivel alto. Por lo que se sigue el siguiente procedimiento:

La densidad del Carbonato de calcio es de  $590\text{Kg/m}^3$ , por lo tanto una cantidad de 50 Kg ocuparía un volumen de  $0.084\text{m}^3$

El volumen que alberga la parte inferior de la tolva viene dado por:

$$V_{\text{ConoTruncdo}} = \frac{1}{3}h * (A + A' + \sqrt{A * A'})$$

donde:

A = Área de la sección menor

A' = Área de la sección mayor

h = Altura

para h = 0.5 m, A = 0.007m<sup>2</sup>, A' = 0.384 m<sup>2</sup> se tiene que  $V_{\text{ConoTruncdo}} = 0.074m^3$ .

Por lo que la parte superior debe albergar el excedente:

$V_{\text{restante}} = V_{50Kg} - 0.074m^3 = 0.01 m^3$  la altura ocupada por el material en la parte superior de la tolva viene dado por:

$$h = \frac{V_{\text{res tante}}}{A'} = \frac{0.01}{0.384} = 0.03m$$

Por lo tanto la altura total desde la boca de la tolva es:

$$h_{\text{total}} = 0.03 + 0.5$$

$$h_{\text{total}} = 0.53m$$

Para la ubicación del sensor de nivel bajo, se debe tener en cuenta que la mínima

cantidad almacenada debe ser la máxima dosificación (20Kg). Tomando el mismo valor de densidad, una cantidad de 20 Kg ocuparía un volumen de 0.033m<sup>3</sup>

De la expresión para el volumen del cono truncado, igualando el volumen a 0.033 m<sup>3</sup> se obtiene h= 22.5 cm

**5.2.2 Dosificación.** Una vez el carbonato de calcio se encuentra almacenado en la tolva destinada para tal fin, se inicia la dosificación del mismo, lo cual es necesario debido a que el carbonato de calcio se agrega a la mezcla en cantidades mínimas (1-50Kg.).

El mezclador MCR 40/100 fabrica un lote de compuesto en aproximadamente 15 minutos, se debe asegurar que al termino de este periodo, las tolvas que alimentan al mezclador, contengan la cantidad especificada por la fórmula y así continuar con el siguiente lote de compuesto. Para propósitos de diseño, se escoge un tiempo máximo de 5 minutos para dosificar la cantidad respectiva de Carbonato de calcio en la tolva de pesaje del mismo.

Por lo tanto, las ratas de dosificación se deben encontrar dentro del siguiente rango:

$$0.2 \text{ --- } 10 \frac{\text{Kg}}{\text{min}} \text{ ó } 12 \text{ --- } 600 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$



Teniendo en cuenta que la densidad del Carbonato de calcio es de  $590 \text{ Kg/m}^3$ , se obtienen las nuevas ratas de dosificación:

$$0.02 \text{ --- } 1.01 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \text{ ó } 20.33 \text{ --- } 1010 \frac{\text{dm}^3}{\text{hr}}$$

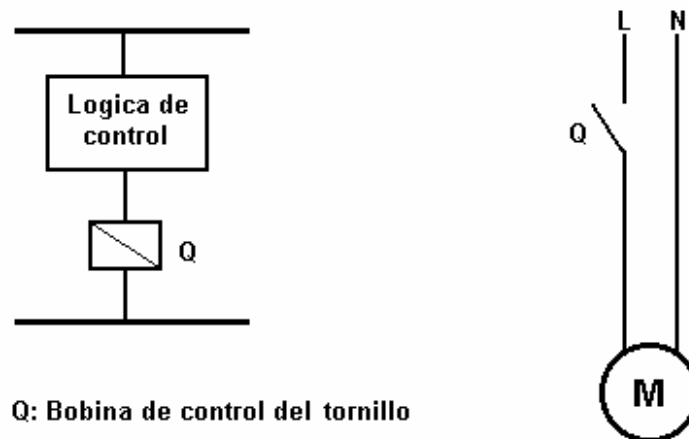
Del catálogo suministrado por el fabricante K-Tron, se selecciona el dosificador de referencia T35, cuyo rango de dosificación se encuentra entre  $1.8 \text{ --- } 2500 \frac{\text{dm}^3}{\text{hr}}$ , el cual se ajusta al rango requerido. Las características técnicas de este dispositivo se encuentran en el anexo C.

El control del motor AC que acciona el tornillo dosificador es realizado por la unidad de control, la cual lo activará cuando se requiera dosificar y lo apagará cuando se haya alcanzado el set point requerido por la fórmula.



**Figura 33.** Tornillo dosificador T35

La activación del tornillo se hará mediante la bobina de control que incorpora el sistema dosificador, (ver figura 33). El motor del tornillo es de 450W a 120Vac



**Q:** Bobina de control del tornillo

**Figura 34.** Mando de tornillo dosificador

**5.2.3 Pesaje.** El pesaje de carbonato se llevará a cabo en una tolva tipo cónico, con capacidad para 100 litros, localizada bajo el extremo final del tornillo dosificador. Debido a su forma, se debe utilizar un arreglo de 3 celdas de carga espaciadas 120° mecánicas, estas tendrán que soportar el peso de la tolva ( $W_{tolva}$ ), el peso de la válvula de descarga ( $W_{válvula}$ ), y el peso del material ( $W_{CaCO_3}$ ), por lo tanto el peso soportado por cada una de las celdas viene dado por la expresión:

$$W_{celda} \geq \frac{W_{tolva} + W_{máx.CaCO_3} + W_{válvula}}{3}$$

La tolva tiene un peso aproximado de 33 Kg, la válvula de 20 Kg y una cantidad máxima de material 40Kg. Por lo tanto cada celda tendrá que soportar un peso máximo de 31 Kg.

Con este valor se selecciona una celda de carga cuya carga nominal se encuentre dentro del rango especificado. Del catálogo suministrado por el fabricante SCAIME, se selecciona la celda de carga de referencia F60X100 cuyas principales características se pueden ver en el cuadro 6. Para mayor información consultar el anexo C.

**Cuadro 6. Características técnicas F60X100**

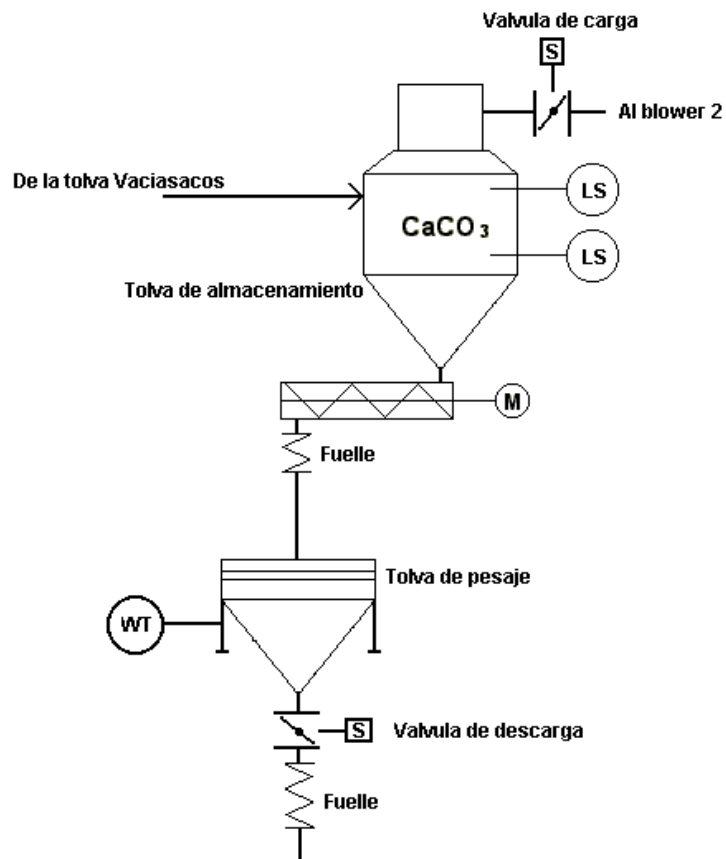
<b>F60X100</b>	
<b>Carga Nominal C.N. (Kg)</b>	100
<b>Utilización Eléctrica (V)</b>	10-15
<b>Impedancia de entrada (W)</b>	385±20
<b>Impedancia de salida (W)</b>	350±5
<b>Sensibilidad nominal (mV/V)</b>	2±1%

Según los parámetros suministrados por el fabricante, la carga nominal que soporta el arreglo de las 3 celdas de carga es de 300 Kg., y el máximo peso que se puede presentar en la elaboración de un compuesto es de 93 Kg., por lo que el sistema soporta una sobrecarga de 320% C.N.

Además, de manera idéntica al sistema de pesaje para la resina PVC, cada una de las celdas de carga se debe alojar en un STABIFLEX, y el arreglo formado por las tres, se debe conectar a un sumador de celdas de carga y la salida de este a un acondicionador de señales que le suministre la señal de 0-10V a la unidad de control.

Las referencias de estos dispositivos son las mismas que el caso de la resina PVC y se pueden encontrar en el anexo C.

De igual manera al caso de la resina PVC, se debe utilizar fuelles para aislar mecánicamente la tolva de pesaje de carbonato de calcio y permitir la correcta medición por parte de las celdas de carga.



**Figura 35.** Esquema del sistema de pesaje para el carbonato de calcio

### 5.3 SISTEMA DE PESAJE DE LA TOLVA DE PULVERIZADO

Para realizar el pesaje del pulverizado se requiere una tolva cónica con capacidad de 300 litros. Además, como ya se describió anteriormente, se debe utilizar un

arreglo de 3 celdas de carga espaciadas 120° mecánicas, que soportará el peso de la tolva ( $W_{tolva}$ ), el peso de la válvula de descarga ( $W_{válvula}$ ), y el del material ( $W_{Pulverizado}$ ), por lo tanto el peso soportado por cada una de las celdas viene dado por la expresión:

$$W_{celda} \geq \frac{W_{tolva} + W_{válvula} + W_{pulverizado}}{3}$$

La tolva tiene un peso aproximado de 33 Kg, la válvula de 20 Kg y una cantidad máxima de material 60Kg. Por lo tanto cada celda tendrá que soportar un peso máximo de:

$$W_{celda} \geq \frac{33 + 20 + 60}{3}$$
$$W_{celda} \geq 37.7Kg$$

Con este valor se selecciona una celda de carga cuya carga nominal se encuentre dentro de dicho rango. Del catálogo suministrado por el fabricante SCAIME, se selecciona la celda de carga de referencia F60X100 cuyas principales características se pueden ver en el cuadro 6. Para mayor información consultar el anexo C.

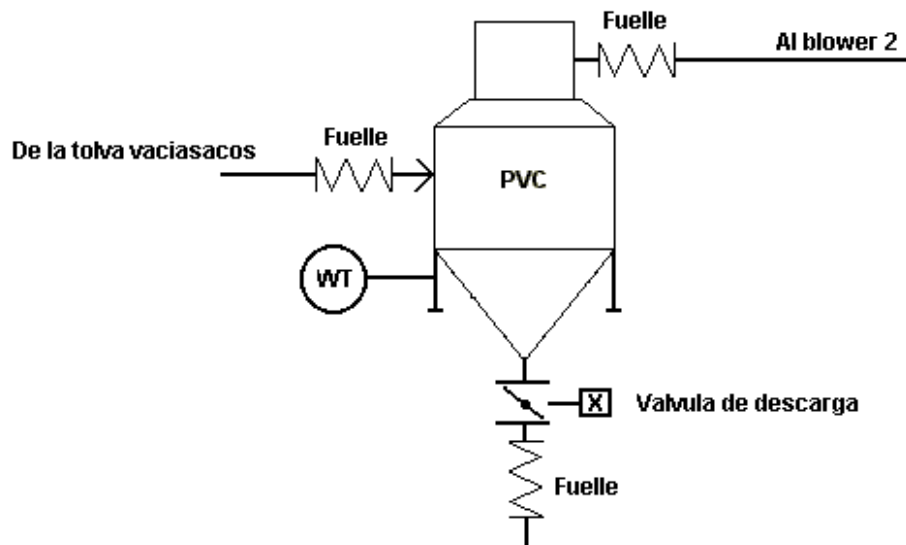
Según los parámetros suministrados por el fabricante, la carga nominal que soporta el arreglo de las 3 celdas de carga es de 300 Kg., y el máximo peso que se puede presentar en la elaboración de un compuesto es de 113 Kg., por lo que

el sistema soporta una sobrecarga de 270 % C.N.

Además, como ya se mencionó anteriormente, de manera idéntica los sistemas de pesaje para la resina PVC y Carbonato de calcio, cada una de las celdas de carga se debe alojar en un STABIFLEX, y el arreglo formado por las tres, se debe conectar a un sumador de celdas de carga y la salida de este a un acondicionador de señales que le suministre la señal de 0-10V a la unidad de control.

Las referencias de estos dispositivos son las mismas que los casos de la resina PVC y el carbonato de calcio, y se pueden encontrar en el anexo C.

De igual manera al casos anteriores, se debe utilizar fuelles para aislar mecánicamente la tolva de pesaje de pulverizado y permitir la correcta medición por parte de las celdas de carga.



**Figura 36.** Esquema del sistema de pesaje para la tolva de Pulverizado

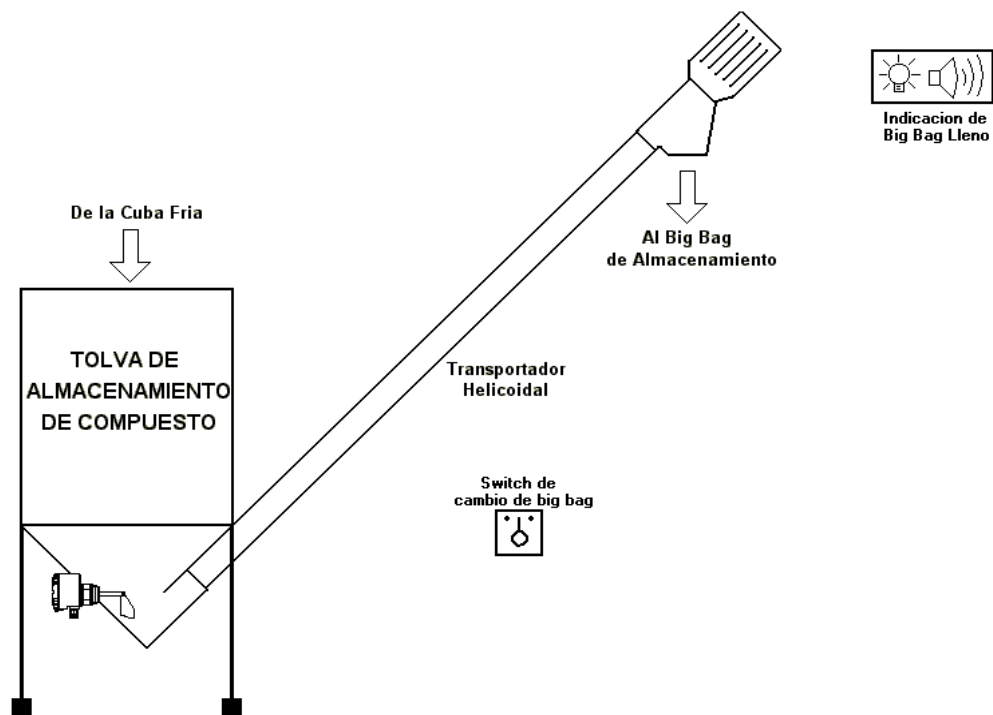
#### 5.4 SISTEMA DE PESAJE DE COMPUESTO TERMINADO

El compuesto proveniente de la tolva de la cuba fría del mezclador, es depositado temporalmente en la tolva de almacenamiento de compuesto terminado con capacidad para 930 litros. La cual estará provista de un transportador helicoidal que se conecta a ella en su extremo inferior y tendrá la función de llevar el material de dicha tolva hasta el big bag de almacenamiento.

Para este tipo de aplicaciones, comúnmente se utilizan en la industria se los sistemas de transporte neumático, que ofrecen gran versatilidad para el transporte de sólidos, pero representan un elevado costo. Otra alternativa son los



transportadores helicoidales, los cuales desplazan el material de un punto a otro, a través de una tubería, con la ayuda de un espiral activado por un motor. Esta alternativa resulta mucho mas económica que la anterior y se amolda perfectamente a los requerimientos exigidos.



**Figura 37.** Esquema de descarga del mezclador

El mezclador MCR 40/100 procesa 4 baches por hora, cada bache tiene un peso aproximado de 165 Kg, lo que implica que el mezclador procesa  $4 \cdot 165 \text{Kg} / \text{h} = 660 \text{Kg}$ . Del catalogo de productos suministrados por la empresa DMI se selecciona el transportador helicoidal de referencia A78. Cuyas principales características se encuentran en el cuadro 7

**Cuadro 7.** Principales características del A-78

<b>A-78</b>				
<b>Diámetro externo</b>	<b>Potencia motor HP</b>	<b>RPM</b>	<b>Kg/H</b>	<b>Diámetro espiral</b>
60mm	4.4	1140	450-1300	9.5



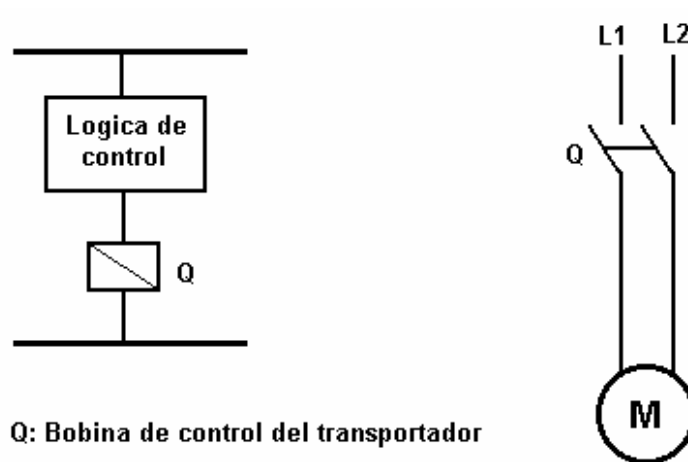
**Figura 38.** Transportador helicoidal A-78

Los estados del motor del transportador helicoidal (encendido/apagado) serán comandados por la unidad de control mediante el monitoreo del switch de nivel bajo del que se debe ubicar en la parte inferior de la tolva(ver figura 37).

Teniendo en cuenta las consideraciones antes mencionadas para el control de nivel en las tolvas, se selecciona el sensor de nivel FTE 31, cuyas principales

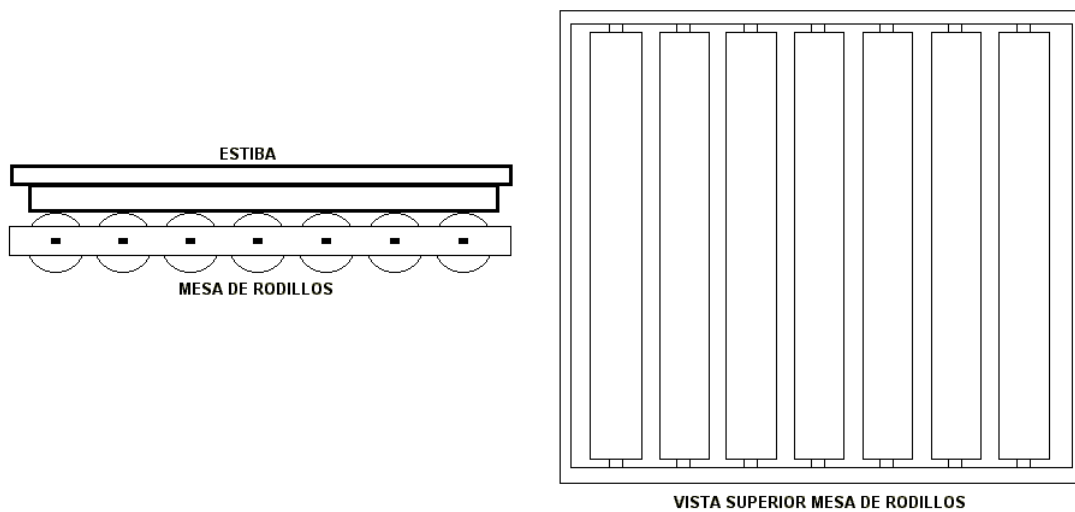
características se encuentran en el cuadro 2.

El transportador incluye un modulo de control para el motor, con entrada a 24Vdc ó 120 Vac, que deberá ser suministrada por la unidad de control.



**Figura 39.** Mando del transportador helicoidal

Para el pesaje del big bag de compuesto, este se colocará sobre una estiba que a su vez descansa sobre una mesa de rodillos, la cual facilitará el retiro del big bag una vez este halla alcanzado su máxima capacidad de almacenamiento (625 Kg.).



**Figura 40.** Mesa de rodillos y estiba

De igual manera que en el pesaje de aditivos en las tolvas, se utilizarán en este caso celdas de carga, las cuales deberán soportar el peso de la estiba y el de la mesa de rodillos.

Debido a la geometría de la mesa de rodillos se debe utilizar un arreglo de 4 celdas de carga. Teniendo en cuenta las consideraciones anteriormente mencionadas se tiene que el peso soportado por cada celda es:

$$W_{celda} = \frac{W_{estiba} + W_{mesaderodillos} + W_{bigbag}}{4}$$

Para un  $W_{estiba} = 20$  Kg,  $W_{mesaderodillos} = 200$  Kg y  $W_{bigbag} = 625$  Kg, se obtiene entonces que cada celda debe soportar 211.25 Kg.

Con este valor se selecciona una celda de carga cuya carga nominal se encuentre dentro del rango especificado. Del catálogo suministrado por el fabricante SCAIME, se selecciona la celda de carga de referencia F60X300 cuyas principales características se pueden ver en el cuadro de especificaciones 8. Para mayor información consultar el anexo C.

Según los parámetros suministrados por el fabricante, la carga nominal que soporta el arreglo de las 4 celdas de carga es de 1200 Kg., y el máximo peso que se puede presentar en la elaboración de un compuesto es de 840 Kg., por lo que el sistema soporta una sobrecarga de 142% C.N.

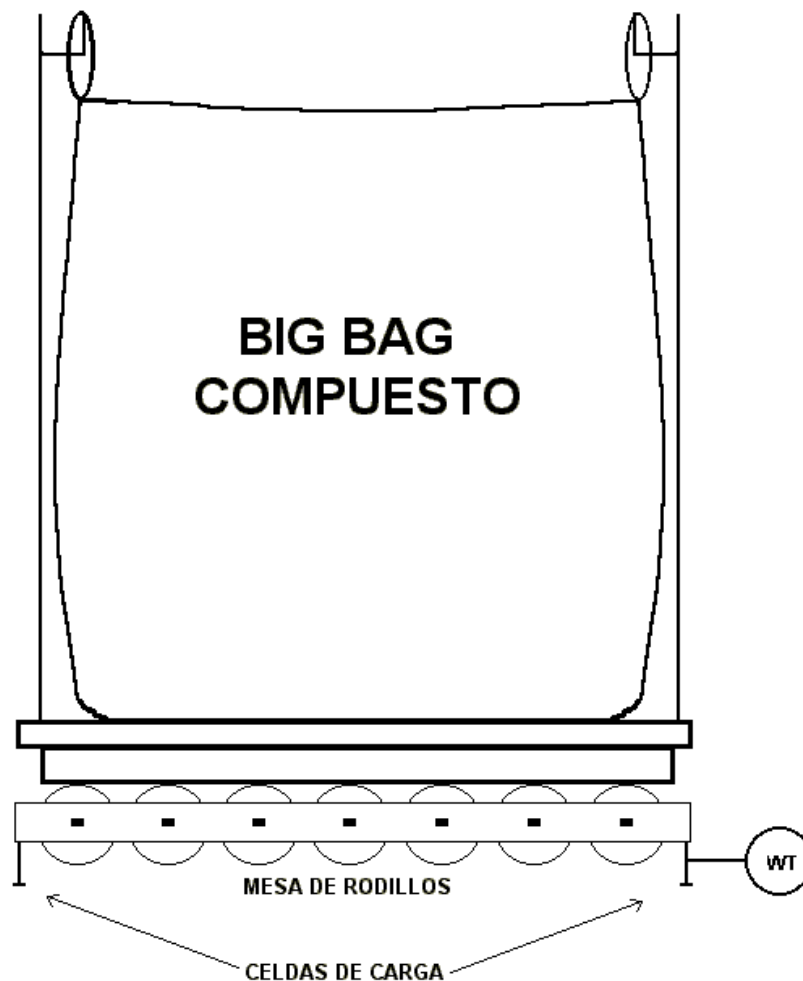
**Cuadro 8.** Características técnicas F60X300

<b>F60X300</b>	
<b>Carga Nominal C.N. (Kg)</b>	300
<b>Utilización Eléctrica (V)</b>	10-15
<b>Impedancia de entrada (W)</b>	385±20
<b>Impedancia de salida (W)</b>	350±5
<b>Sensibilidad nominal (mV/V)</b>	2±1%

Además, de manera idéntica a los sistemas de pesaje anteriores, cada una de las celdas de carga se debe alojar en un STABIFLEX, y el arreglo formado por las tres, se debe conectar a un sumador de celdas de carga y la salida de este a un

acondicionador de señales que le suministre la señal de 0-10 V a la unidad de control.

Las referencias de estos dispositivos son las mismas que se han venido utilizando en los sistemas anteriores a excepción del sumador cuya referencia es ALCJB6 que tiene capacidad de 4-6 celdas y cuyas características técnicas se encuentran en el anexo C.

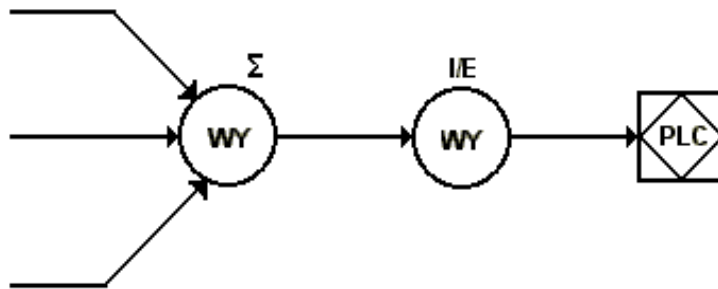


**Figura 41.** Sistema de pesaje para el compuesto terminado.

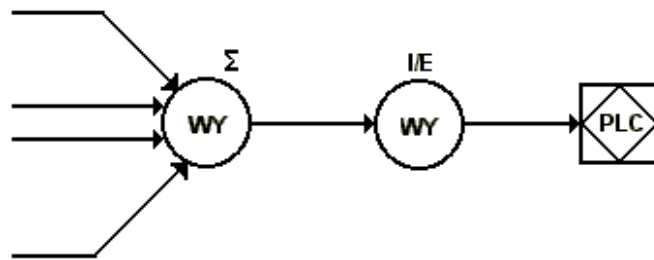
## 5.5 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL PROVENIENTE DE LAS CELDAS DE CARGA DE CARGA

La señal proveniente de cada una de las celdas de carga es introducida en el módulo sumador ALJCB3, de donde se desprende una única salida al módulo acondicionador SMJ-CE. El cual envía una señal normalizada a la unidad de control (0-10 V).

El módulo acondicionador SMJ-CE recibe su voltaje de alimentación (24V) de la fuente QUINT-PS-230AC/24DC/1 y este a su vez proporciona la alimentación de las celdas de carga (10 V).



**Figura 42.** Esquema de acondicionamiento de señal para 3 celdas de carga



**Figura 43.** Esquema de acondicionamiento de señal para 4 celdas de carga



## **6. SISTEMAS FLUIDIFICADORES**

Debido a la naturaleza adhesiva de los materiales utilizados para la alimentación del mezclador MCR 40/100 de la empresa Tuvinil de Colombia S.A, se hace necesario remover los residuos de material remanentes en las paredes de las tolvas de pesaje una vez se haya abierto las válvulas de descarga.

La empresa actualmente utiliza en la tolva de resina PVC, un sistema de activación por golpeo, el cual se debe eliminar al implementar el nuevo sistema de control ya que este tipo de rutina descalibraría las celdas de carga a causa de la vibración producida. De igual manera sistemas similares como los de agitación no serían los mas adecuados a utilizar.

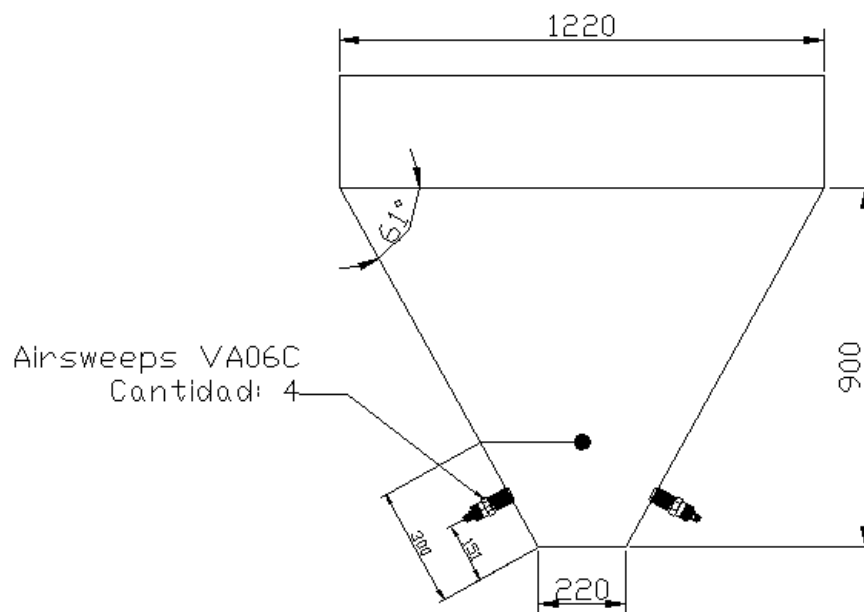
Por tal razón, se utiliza comúnmente en la industria de conversión de plásticos, sistemas activadores de tolvas o sistemas de fluidificación de sólidos, los cuales utilizan pulsos de aire comprimido para crear pequeñas turbulencias en el interior de las tolvas y así desprender el material adherido a las paredes de las mismas.

Con base en las medidas de las tolvas de pesaje, y las características del material manejado, el nivel de la red de aire comprimido en la empresa, la temperatura

ambiente y el nivel de humedad, el fabricante Myrlen sugiere el sistema fluidificador VA-06, cuyas principales características técnicas se encuentran en el anexo D .

### 6.1 TOLVA DE PESAJE DE RESINA PVC

Dos (2) inyectores se posicionan en la sección cónica de la tolva a una altura de 150 mm desde la descarga; opuestos 180° entre si. Los dos (2) restantes inyectores se posicionan a 300 mm desde la descarga, opuestos entre si y con rotación 90° respecto a los inferiores.

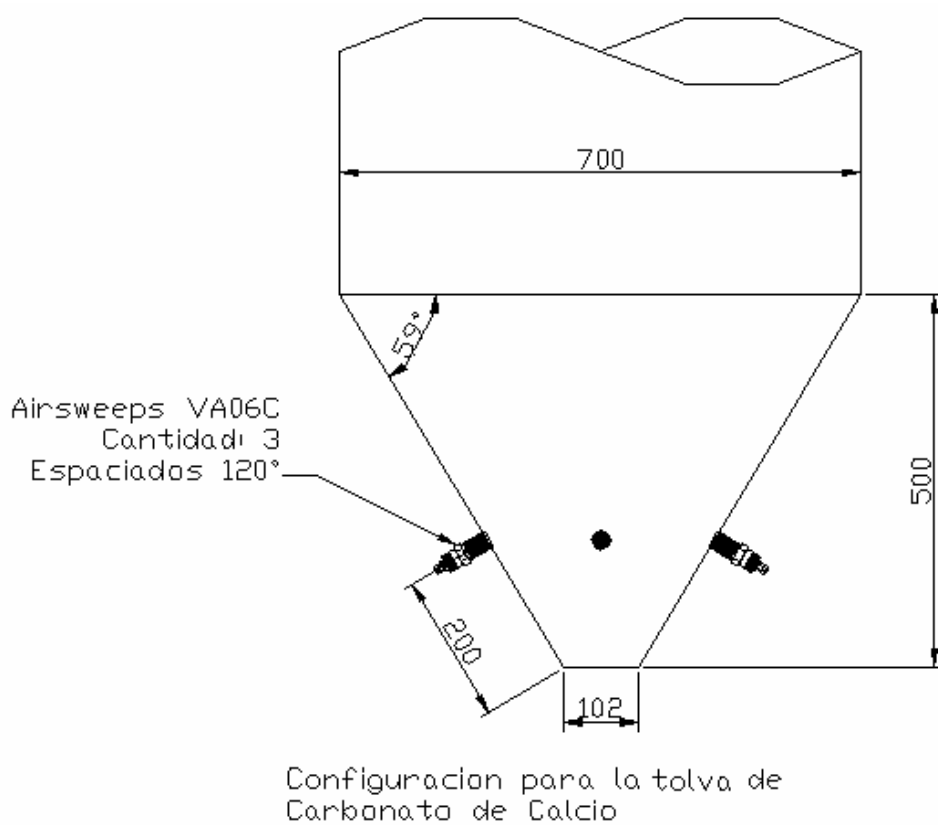


Configuración para tolva  
de Resina de PVC.

**Figura 44.** Sistema fluidificador tolva de pesaje de resina PVC

## 6.2 TOLVA DE PESAJE DE CARBONATO DE CALCIO

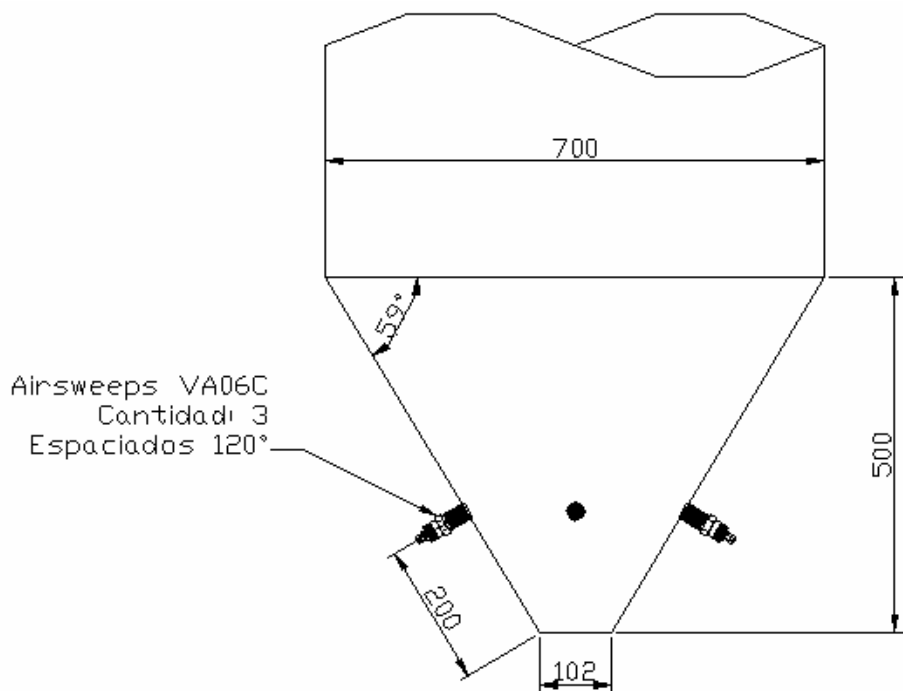
Tres (3) inyectores se posicionan en la sección cónica de la tolva a una altura de 200 mm desde la descarga; igualmente espaciados  $120^\circ$  entre si.



**Figura 45.** Sistema fluidificador tolva de pesaje de carbonato de calcio

### 6.3 TOLVA PULVERIZADO

Tres (3) inyectores se posicionan en la sección cónica de la tolva a una altura de 200 mm desde la descarga; igualmente espaciados  $120^\circ$  entre si.



Configuración para la tolva de Scrap de PVC

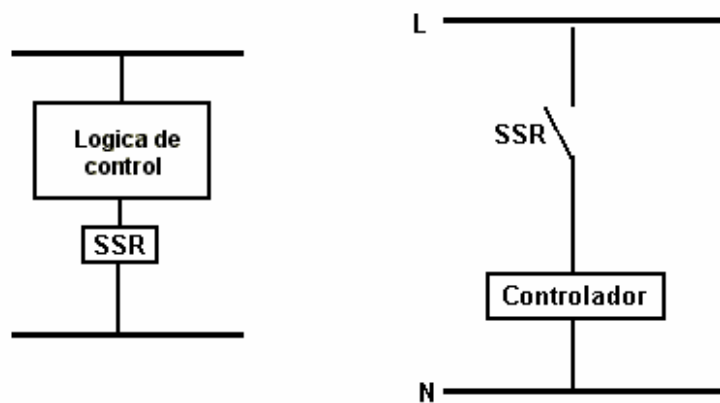
**Figura 46.** Sistema fluidificador tolva de pesaje de pulverizado

### 6.4 MANDO DEL SISTEMA FLUIDIFICADOR

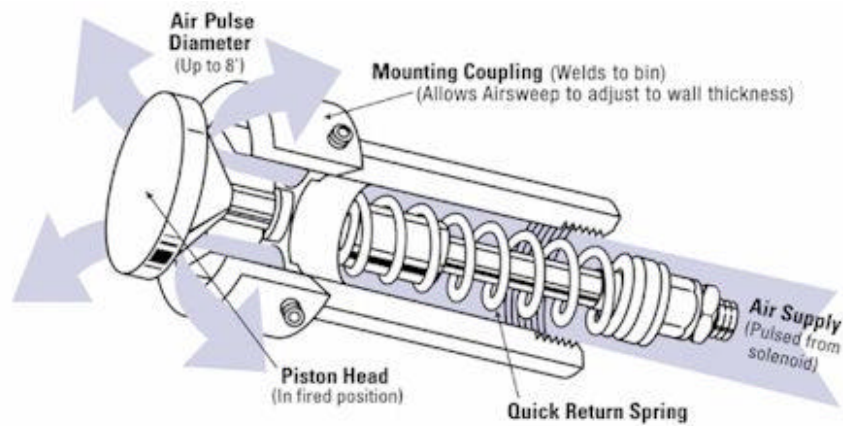
Cada sistema fluidificador incluye un controlador de secuencia de disparo para las boquillas, que al recibir una señal de la unidad de control, genera dicha secuencia temporizada para las solenoides que permiten el paso del aire comprimido al

interior de la tolva. El cableado a utilizar debe ser AWG 12.

La secuencia es programada mediante temporizadores incluidos en el controlador.



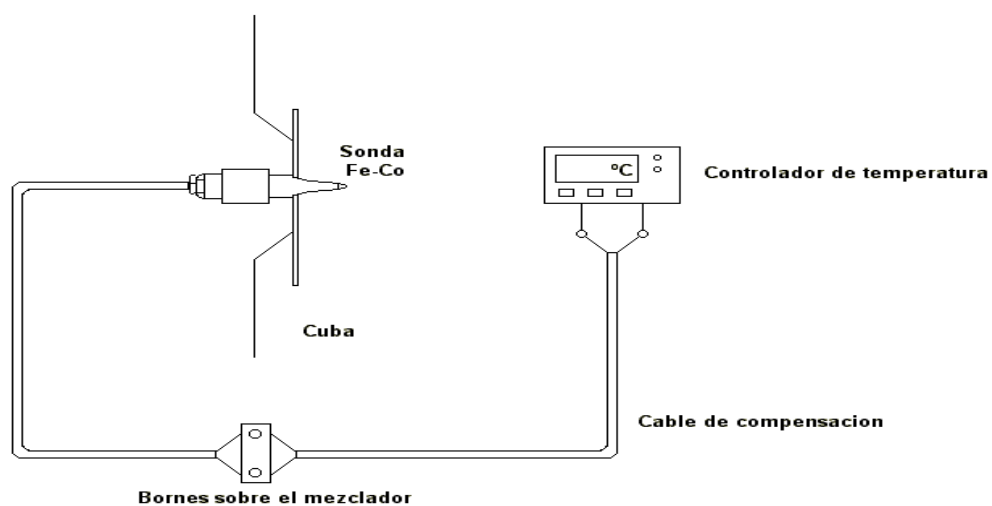
**Figura 47.** Esquema de mando para el controlador de secuencias.



**Figura 48.** Detalle de la boquilla de inyección de aire

## 7. MEDICIÓN DE TEMPERATURA

El mezclador MCR 40/100 cuenta tanto en la cuba caliente como en la fría con una termocupla tipo J (Fe-Co), conectada cada una a su correspondiente controlador, los cuales monitorean la temperatura de las cubas y gracias al cambio de estado de un contacto, habilitan junto con una lógica interna, el paso del compuesto a la cuba fría y posteriormente a la tolva de almacenamiento de compuesto terminado. Estos controladores son de referencia Dtron 04, y sus principales características se encuentran en el anexo E.



**Figura 49.** Esquema medida de temperatura cubas del mezclador MCR 40/100

A estos controladores se les puede configurar hasta 2 setpoints, lo cual resulta muy práctico para efectos de la estrategia de control, ya que se necesita habilitar la caída de material en la cuba caliente a 85°C y en la fría a 55 °C.

## **7.1 ADAPTACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA**

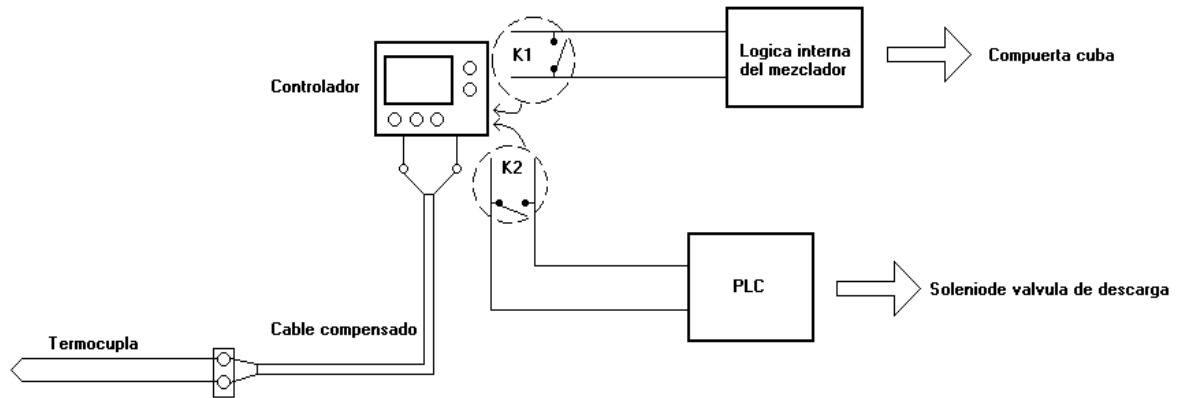
El controlador de temperatura Dtron 04 incorpora contactos que actúan como switches de temperatura, los cuales son programados para que se activen a una temperatura preseleccionada en el panel del controlador.

En el sistema actual, estos contactos habilitan la lógica de control que permite la apertura de la compuerta de la cuba caliente para que el compuesto pase a la cuba fría a una temperatura de 106 °C. De forma similar, el controlador que monitorea la señal proveniente de la cuba fría habilita el paso del compuesto hacia la tolva de almacenamiento.

Para efectos de la nueva estrategia de control, y aprovechando las características de los controladores de temperatura, se les programará un set point adicional que habilitará un contacto cuando se alcancen los 85°C (controlador de la cuba caliente) y 55°C (controlador de la cuba fría), para que la unidad de control dé la orden de apertura a las válvulas que permitirán la caída de Carbonato de calcio y el pulverizado respectivamente.

La conexión entre los contactos de los controladores de temperatura y el PLC se

realiza mediante cableado AWG 20.



K1, K2: Switches de temperatura en la parte posterior de controlador

**Figura 50.** Esquema de monitoreo de temperatura.



## **8. UNIDADES DE CONTROL DEL SISTEMA**

Una vez son seleccionados todos los elementos que conforman el sistema de control, se procede a la selección de la unidad encargada del monitoreo, procesamiento de información y mando.

Para este tipo de aplicaciones, comúnmente se utiliza en la industria controladores autómatas programables (PLC) ya que estos se pueden instalar en casi todo tipo de ambiente industrial, su mantenimiento es mínimo, simplifica el cableado del sistema y además son económicos.

Antes de seleccionar el PLC a utilizar, se debe realizar un dimensionamiento del sistema a fin de determinar cual es el PLC adecuado para la aplicación a controlar.

Para el dimensionamiento del sistema se tienen en cuenta todas las unidades funcionales mencionadas en capítulos anteriores, determinando que tipo de señal representa cada una para el PLC.

## **8.2 ESPECIFICACIÓN DE LAS UNIDADES FUNCIONALES**

### **8.1.1 transporte, pesaje y descarga de resina pvc**

- Tolvas Vaciasacos

Estos elementos de almacenamiento temporal tienen una capacidad de 500 litros y están localizados en la parte baja del montaje, su finalidad es la retener el material proveniente de los big bag de los distintos tipos de resina PVC, para su posterior succión.

- Indicador de Nivel de la Tolva Vaciasacos

Este constituye una entrada discreta al PLC. Tiene como función principal habilitar el arranque del sistema de succión de Resina PVC (Blower N°1) cuando se requiera subir material a la tolva de pesaje de resina.

- Blower N°1

El sistema blower constituye una salida discreta del PLC (arranque/parada). El arranque se dará cuando el operario seleccione el tipo de compuesto a fabricar en el panel operador. La parada se dará una vez se haya finalizado el cargue de la dosis de resina exigida por la formula.

- Válvula de Tres Vías para bloqueo de Flujo

Esta válvula solenoide de tres vías es del tipo mariposa con actuador eléctrico y constituye una salida discreta del PLC (abierto/cerrado). Su función es la de permitir el flujo las distintas resinas utilizadas para la elaboración de compuesto. El PLC maneja sus estados mediante la lectura de las celdas de carga.

- Tolva de Pesaje

La función principal de este elemento es la permitir el pesaje de la cantidad de material requerida por la fórmula y almacenarlo hasta el momento en que deba ser descargado en la cuba caliente del mezclador. La capacidad de esta tolva es de 425 litros.

- Celdas de Carga

Constituyen una entrada analógica al PLC Su función principal es la de monitorear la cantidad de resina PVC que llega a la tolva de pesaje. Constituyen una entrada analógica al PLC.

- Válvulas de Fluidificación

Este sistema constituye una salida discreta del PLC. La función principal de este elemento es la de permitir o no el flujo de aire comprimido en el sistema de fluidificación que es el encargado de desprender los residuos de material adheridos a las paredes de las tolvas. Es accionado cuando las celdas de carga registran aproximadamente el cero luego de haber sido descargado el material desde la tolva de pesaje hacia la cuba caliente.

- Válvula de Descargue a Cuba Caliente

Constituye una entrada discreta del PLC, el cual monitorea sus estados (abierto/ cerrado). Esta válvula es del tipo normalmente cerrada y se abre cuando el operador da la orden de arranque del batch.

### **8.1.2 Transporte, dosificación, pesaje y descarga de carbonato de calcio**

- Tolva Vaciasacos

Este elemento de almacenamiento temporal tiene una capacidad de 500 litros y esta localizado en la parte baja del montaje, su finalidad es la retener el material proveniente del big bag para su posterior succión.

- Indicador de Nivel de la Tolva Vaciasacos

Constituye una entrada discreta al PLC. Tiene como función principal habilitar el arranque del sistema de succión de Carbonato de calcio (Blower N°2) cuando se requiera subir material a la tolva de almacenamiento de Carbonato de calcio.

- Blower N°2

El sistema blower constituye una salida discreta del PLC (arranque/parada). El arranque se dará cuando se inicia el sistema y el nivel de material en la tolva de almacenamiento de Carbonato de calcio es menor al de referencia. La parada se dará cuando se supere el nivel alto de dicha tolva.

- Válvula de bloqueo de Flujo

Esta válvula solenoide constituye una salida discreta del PLC (abierto/cerrado), es del tipo mariposa con actuador eléctrico y su función es la de permitir el flujo de Carbonato de calcio hacia la tolva de almacenamiento del mismo.

- Tolva de Almacenamiento

Este elemento sirve como unidad de almacenamiento temporal del Carbonato de calcio para su posterior dosificación a la tolva de pesaje mediante un tornillo dosificador. Su capacidad es de 300 litros.

- Válvula de Fluidificación N°1

Constituye una salida discreta del PLC. La función principal de este elemento es la de permitir o no el flujo de aire comprimido en el sistema de fluidificación que es el encargado de desprender los residuos de material adheridos a las paredes de las tolvas y es accionada cuando las celdas de carga de la tolva de pesaje de Carbonato de calcio detectan aproximadamente el cero.

- Indicadores de Nivel Tolva de Almacenamiento

Este elementos constituyen unas entradas discreta al PLC. La función principal de estos es la de alertar al PLC del nivel alto / bajo de material en la tolva de almacenamiento para la posterior activación del blower n°2

- Tornillo Dosificador

Constituye una salida discreta del PLC. Su función es la de dosificar el material en pequeñas cantidades hacia la tolva de pesaje, con el fin de tener una medida exacta del Carbonato de calcio requerido por la fórmula del compuesto a elaborar. El tornillo es accionado por un motor a.c., cada vez que se vaya a elaborar un lote de compuesto .

- Tolva de Pesaje

La función principal de este elemento es la permitir el pesaje de la cantidad de material requerida por la formula y almacenarlo hasta el momento en que deba ser descargado en la cuba caliente del mezclador. La capacidad de esta tolva es de 150 litros.

- Celdas de Carga

Constituyen una entrada analógica al PLC. Su función principal es la de monitorear la cantidad de Carbonato de calcio que llega a la tolva de pesaje. Constituyen una entrada a náloga al PLC.

- Válvula de Fluidificación N°2

Constituye una salida discreta del PLC. La función principal de este elemento es la de permitir o no el flujo de aire comprimido en el sistema de fluidificación que es el encargado de desprender los residuos de material adheridos a las paredes de las tolvas. Es accionado cuando las celdas de carga registran aproximadamente el cero luego de haber sido descargado el material almacenado en la tolva de pesaje.

- Válvula de Descarga en la Cuba Caliente

Constituye una salida discreta del PLC, el cual maneja sus estados (abierto/cerrado). Esta válvula es del tipo normalmente cerrada y se abre cuando la temperatura en la cuba caliente alcanza 85°C.

### **8.4.3 Transporte, pesaje y descarga de pulverizado**

- Tolva Vaciasacos

Este elemento de almacenamiento temporal tiene una capacidad de 500 litros y esta localizado en la parte baja del montaje, su finalidad es la retener el material proveniente del big bag para su posterior succión.



- Indicador de Nivel Tolva Vaciasacos

Este constituye una entrada discreta al PLC. Tiene como función principal habilitar el arranque del sistema de succión de pulverizado (Blower N°2) cuando se requiera subir material a la tolva de pesaje de pulverizado.

- Blower N°2

El sistema blower constituye una salida discreta del PLC (arranque/parada). El arranque se dará cuando el operario seleccione el tipo de compuesto a fabricar en el panel operador. La parada se dará una vez se halla finalizado el cargue de la dosis de pulverizado exigida por la formula.

- Válvula de bloqueo de Flujo

Esta válvula solenoide es del tipo mariposa con actuador eléctrico y constituye una salida discreta del PLC (abierto/cerrado). Su función es la de permitir el flujo de pulverizado hacia la tolva de pesaje del mismo. El PLC maneja sus estados mediante la lectura de las celdas de carga.

- Tolva de Pesaje

La función principal de este elemento es la permitir el pesaje de la cantidad de material requerida por la formula y almacenarlo hasta el momento en que deba ser descargado en la cuba caliente del mezclador. La capacidad de esta tolva es de 170 litros.

- Celdas de Carga

Constituyen una entrada analógica al PLC. Su función principal es la de monitorear la cantidad de pulverizado que llega a la tolva de pesaje. Constituyen una entrada análoga al PLC.

- Válvula de Fluidificación

Constituye una salida discreta del PLC. La función principal de este elemento es la de permitir o no el flujo de aire comprimido en el sistema de fluidificación que es el encargado de desprender los residuos de material adheridos a las paredes de las tolvas. Es accionado cuando las celdas de carga registran aproximadamente el cero luego de haber sido descargado el material desde la tolva de pesaje hacia la cuba fría.

- Válvula de Descargue a Cuba Fría

Constituye una salida discreta del PLC, el cual maneja sus estados (abierto/cerrado). Esta válvula es del tipo normalmente cerrada y se abre cuando la temperatura en la cuba fría llega a 55°C.

#### **8.4.4 Descargue de compuesto**

- Transportador Helicoidal

Este dispositivo constituye una salida discreta del PLC. El transportador helicoidal llevará el compuesto de la tolva de almacenamiento de compuesto terminado hasta el big-bag ubicado en la báscula de pesaje a la salida del mezclador. Constituye una salida discreta para el PLC.

- Sensor de Nivel de la Tolva de Almacenamiento de Compuesto terminado

Este constituye una entrada discreta al PLC. Tiene como función principal habilitar el arranque del transportador helicoidal cuando se requiera llevar material al big bag de almacenamiento final.

- Báscula de Pesaje de Compuesto

Este dispositivo constituye una entrada analógica del PLC. Este subsistema está constituido por cuatro celdas de carga y sus correspondientes dispositivos de acondicionamiento de señal, cuya finalidad es la de monitorear el peso del big bag de almacenamiento de compuesto para que así por medio del PLC se active o no el transportador helicoidal. Constituye una entrada análoga al PLC

#### **8.4.5 Medición de temperatura**

- Cuba Caliente

El controlador de temperatura que monitorea la señal proveniente de la termocupla tipo J instalada en la cuba caliente del mezclador proporciona una entrada discreta al PLC cuando se alcanza el set point preseleccionado.

- Cuba Fría

El controlador de temperatura que monitorea la señal proveniente de la termocupla tipo J instalada en la cuba fría del mezclador proporciona una entrada discreta al PLC cuando se alcanza el set point preseleccionado.

#### **8.4.6 Otras señales**

- Indicación de Ready

Esta señal es una salida discreta del PLC. Se activa cuando las tolvas de pesaje de los distintos materiales han alcanzado el setpoint indicado por la fórmula, por lo que el sistema se encuentra listo para iniciar la elaboración del correspondiente lote de compuesto.

- Señal de Big Bag Lleno

Constituye una salida discreta del PLC en indica luminosa y sonoramente que el big bag de almacenamiento de compuesto terminado ha llegado a su máxima capacidad.

- Interruptor de Cambio de Big Bag

Constituye una entrada discreta al PLC e indica al mismo que se debe detener el transportador helicoidal debido a que se está reemplazando el big bag de almacenamiento de compuesto terminado.

De acuerdo con la especificación de las unidades funcionales, se genera el cuadro 9, donde se ilustra claramente el número de entradas y salidas

necesarias para el control del sistema.

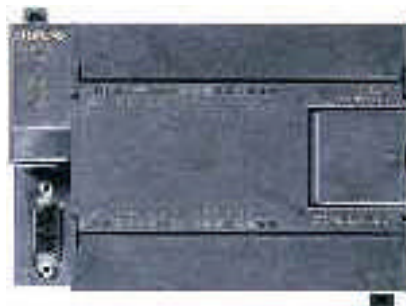
**Cuadro 9.** Sumario de las señales del sistema

SISTEMA	ELEMENTO	CANT.	DI	DO	AI	AO
Transporte de aditivos	Level switch	4	X			
	Blower 1	1		X		
	Blower 2	1		X		
Dosificación y pesaje	Válvula de carga Scrap	1		X		
	Válvula Diversora	1		2X		
	Válvula de carga $\text{CaCO}_3$	1		X		
	Válvula descarga Scrap	1		X		
	Válvula descarga Resina	1	X			
	Válvula de descarga $\text{CaCO}_3$	1		X		
	Tornillo Dosificador	1		X		
	Switch de nivel $\text{CaCO}_3$	2	X			
	Bascula tolva de Scrap	1			X	
	Bascula tolva de resina	1			X	
	Bascula tolva de $\text{CaCO}_3$	1			X	
	Sistema de fluidificación tolva de Scrap	1			X	
	Sistema de fluidificación tolva de resina	1			X	
	Sistema de fluidificación tolva de $\text{CaCO}_3$	1			X	
	Medida de temperatura	Controlador Temp. Cuba caliente	1	X		
Controlador Temp. Cuba fría		1	X			
Descarga de Compuesto	Switch de nivel tolva de almacenamiento	1	X			
	Transportador helicoidal	1		X		
	Bascula de pesaje de compuesto	1			X	
	Switch de cambio de big big	1	X			
Señales de operador	Indicación de ready	1		X		
	Indicación de big bag lleno	1				
<b>TOTAL</b>			<b>11</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	

## 8.5 SELECCIÓN DEL PLC

Del catalogo suministrado por el fabricante SIEMENS, se selecciona el PLC de referencia Simatic S7-200, CPU 224 debido a que la aplicación no requiere de un PLC de gama media o alta como lo son el S7-300 y S7-400 del mismo fabricante, además es una alternativa económica que se ajusta perfectamente a las necesidades de la aplicación. Las principales características de este elemento se encuentran en el anexo F.

La CPU 224 tiene un modulo básico de 14DI/10DO, por lo que requiere la adquisición del modulo de ampliación con entradas análogas de referencia 6ES7 231 0HC21-0XA0, que viene provisto de 4 entradas y además se debe adquirir también un modulo de salidas digitales de referencia 6ES7 222 1HF20-0XA0 que posee 8 salidas digitales cuyas características técnicas se encuentran en el anexo F.



**Figura 51.** S7-200 CPU 224

El montaje del PLC requiere de dispositivos básicos para su funcionamiento como lo son: fuente de alimentación, memoria EEPROM, accesorios de montaje (gabinete, rieles, canaletas, aisladores, barraje, bornas de tierra) y protecciones (disyuntores monopolares y bipolares).

## **8.6 PANEL DE OPERADOR**

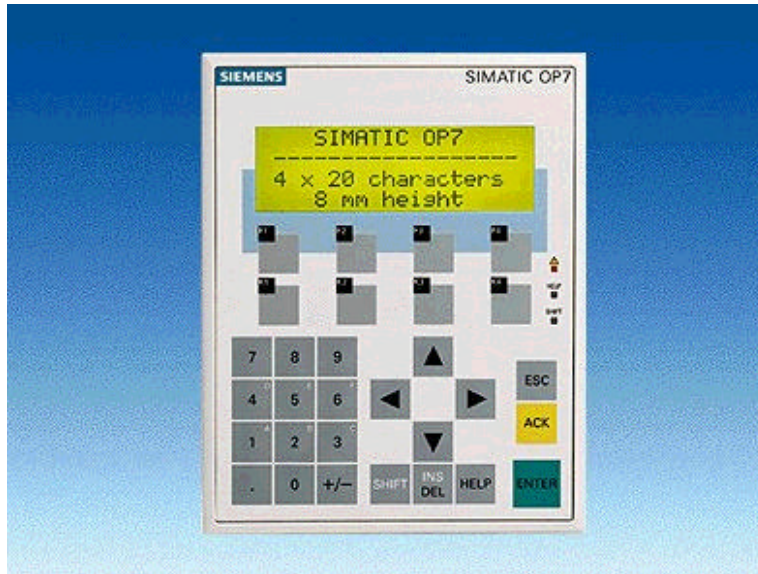
La interfaz operador-PLC estará constituida por un panel, desde el cual el se seleccionará el tipo de compuesto que desea elaborar y la cantidad de lotes deseados de un menú de recetas.

Para la selección de este dispositivo se deben tener en cuenta factores como: La compatibilidad con el PLC, robustez y fácil operación.

Del catalogo proporcionado por el fabricante SIEMENS se selecciona el panel de operación OP7 de referencia 6AV3 607-1JC20-0AX1, cuyas principales características técnicas se encuentran en el anexo F.

El montaje de este dispositivo se hará en la parte frontal del gabinete que albergará al sistema PLC.





**Figura 52.** Panel de operación OP7

Este dispositivo resulta muy práctico para procesos de mezclado, ya que cuenta entre sus funciones con la de elaboración de recetas. La cual permite almacenar en sus registros de memoria las cantidades de cada aditivo exigido por cada fórmula. Una vez el operador seleccione el tipo de receta, el OP7 se encarga de almacenar en los registros de memoria del PLC preseleccionados, los set points de la receta a elaborar. De esta manera el programa principal solo tiene que leer estos datos y ejecutar la rutina base. Para mayor información consultar anexo F.

Su configuración se hace por medio del software ProTool, suministrado por el fabricante en momento de la adquisición del equipo, desde este se introducen las recetas y los menús que serán mostrados un vez se inicializa el panel. El panel OP7 se interconecta con el S7-200 mediante el protocolo PPI.

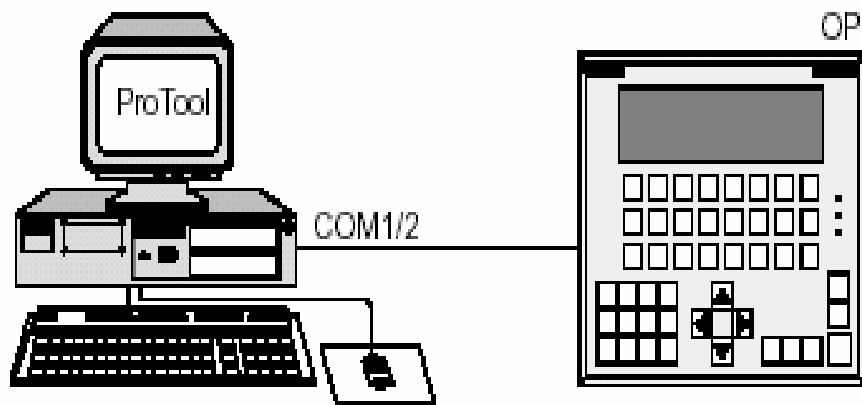


Figura 53. Esquema de configuración del OP7

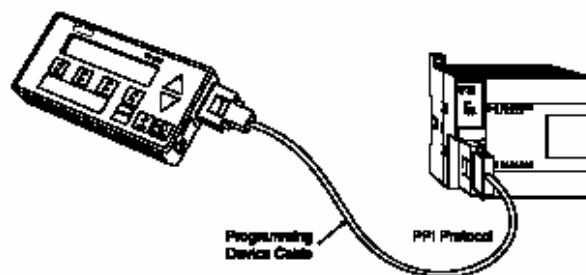
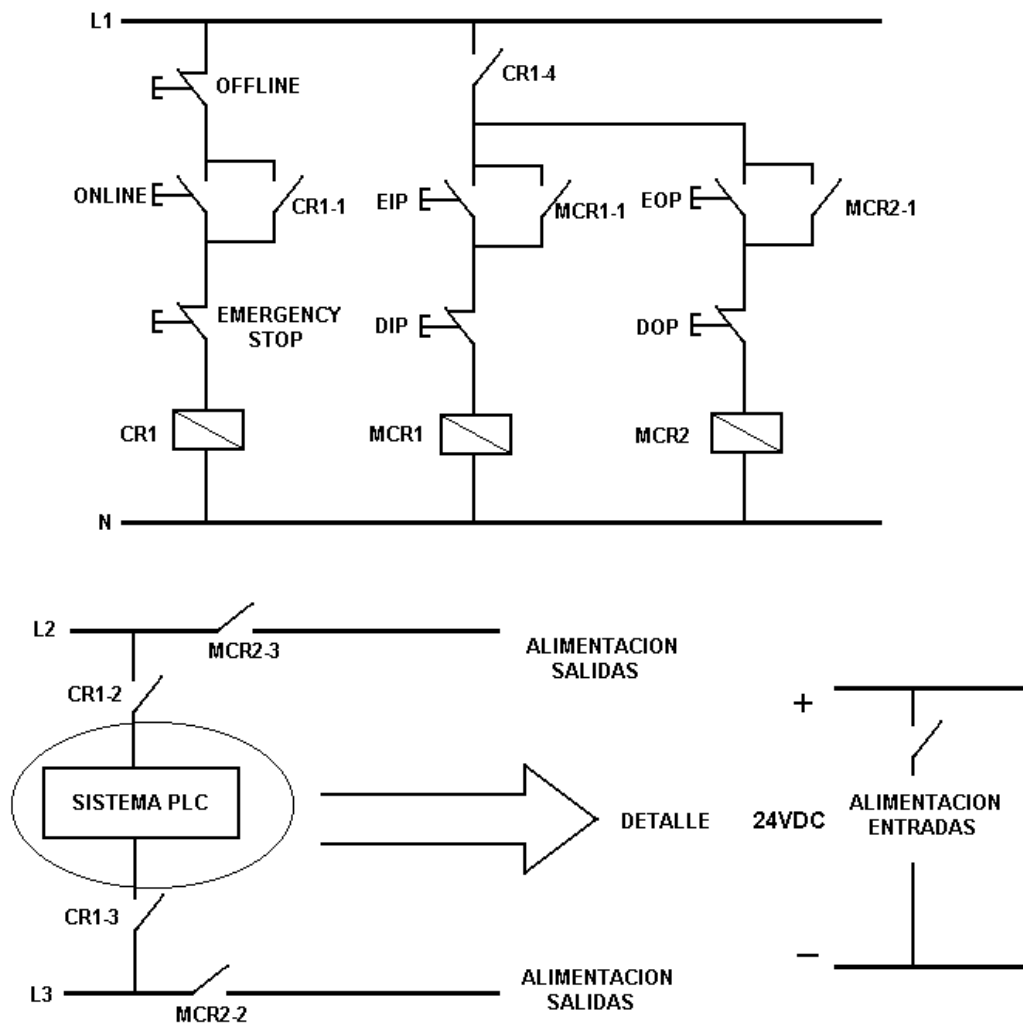


Figura 54. Esquema de interconexión entre el OP7 y el S7-200

## 8.7 CONEXIÓN DEL SISTEMA A LA RED DE POTENCIA

Para la conexión del sistema a la red de potencia, es ampliamente utilizado el circuito que se muestra en la figura 55.



**Figura 55.** Esquema de conexión del sistema PLC a la red de potencia

Mediante el pulsador ON LINE se energiza la bobina CR1 que cierra los contactos CR1-1, CR1-2, CR1-3 y CR1-4. El contacto CR1-1 energiza el sistema PLC, que está constituido por las celdas de carga y su fuente de alimentación y la fuente de alimentación del PLC (la cual alimenta los sensores y el panel).

En este momento se encuentran deshabilitadas las entradas y salidas discretas del PLC, la puesta en funcionamiento de las mismas se efectúa pulsando los contactos EIP y EOP , que activan las bobinas MCR1 y MCR2 respectivamente. MCR2 cierra los contactos MCR2-1, MCR2-2 y MCR2-3, estos dos últimos habilitan las líneas de alimentación de los distintos actuadores del sistema.

Con la activación de la bobina MCR1, se cierran los contactos MCR1-1, MCR2-2, este último habilita las línea de alimentación para los sensores, ver figura 55.

Los pulsadores DIP y DOP sirven para deshabitar las entradas y salidas de PLC respectivamente, para desenergizar el sistema PLC se utiliza el pulsador OFFLINE, y para deshabilitar todo el sistema se utiliza el pulsador EMERGENCY STOP.

El circuito de conexión a la red de potencia puede complementarse con la inclusión de un condensador en paralelo con el lado secundario del transformador, el cual no permite cambios bruscos de tensión o transitorios generados por las cargas inductivas del sistema.

## **9. DISEÑO DE LA LÓGICA DE CONTROL PARA EL SISTEMA**

Para que los dispositivos del sistema ejecuten correctamente las funciones para las cuales fueron seleccionados, se necesita que estén organizados de forma lógica, de tal manera que sus estados sean función de una secuencia de eventos anteriores.

### **9.1 SECUENCIA LÓGICA A SEGUIR PARA LA ALIMENTACIÓN Y DESCARGA DEL MEZCLADOR**

Mediante el panel de operador, se selecciona el tipo de compuesto de entre una lista de recetas y el número de lotes que se desea elaborar. A continuación, el PLC verifica el nivel de material en las tolvas vacías y comienza la carga del mismo mediante los sistemas de succión. El primero de los cuales se encarga de transportar la resina PVC hasta su correspondiente tolva de pesaje, donde el control de la cantidad de material entrante se efectúa por medio de una válvula de bloqueo de flujo. El PLC maneja los estados de dicha válvula mediante el monitoreo de las celdas de carga instaladas en dicha tolva, de esta manera, cuando se detecte que se ha llegado al set point especificado por la fórmula se corta el flujo de material entrante y se apaga el Blower N°1.

El Blower N°2 transporta el material desde las tolvas vacías sacos de carbonato de calcio y pulverizado a las tolvas de almacenamiento de carbonato de calcio y de pesaje de pulverizado secuencialmente.

El bloqueo de flujo de material hacia la tolva de almacenamiento de carbonato de calcio se efectúa mediante una válvula y su nivel se controla mediante dos sensores (alto/bajo). El PLC monitorea el estado de dichos sensores para mantener un nivel un determinado nivel de material en la tolva de almacenamiento. A continuación, se activa el dosificador tipo tornillo que se encarga de agregar el carbonato de calcio a la tolva de pesaje hasta cuando el PLC detecte mediante las celdas de carga asociadas a esta, que se ha alcanzado el peso especificado por la fórmula, momento en el cual se desenergiza el motor que mueve el tornillo, por lo que se corta el flujo de material dosificado.

El Blower N°2 inicia la succión del pulverizado cuando se ha finalizado el proceso de carga del carbonato de calcio, momento en el cual se habilita el paso de material hacia la tolva de pulverizado mediante la respectiva válvula de bloqueo. El PLC interrumpe el flujo del material cuando ha detectado, con ayuda de las celdas de carga, que se ha alcanzado el peso del pulverizado exigido por la fórmula.

Una vez cargadas las dosis de material en las correspondientes tolvas de pesaje, el PLC activa una señal luminosa por medio de la cual se indica al operador que el sistema se encuentra listo para iniciar el proceso de mezclado, por lo que se puede pulsar el botón de arranque de lote que activa la secuencia normal del

mezclador, por lo que la resina PVC comienza a caer en la cuba caliente del mezclador donde se eleva la temperatura de la misma. Una vez que se haya descargado la mayoría de la resina PVC, el PLC activa la válvula del sistema de fluidificación para terminar de evacuar los residuos de material que permanezcan adheridos a las paredes de la tolva.

El PLC monitorea los estados de un contacto en el controlador de temperatura de la cuba caliente del mezclador, cuando se alcanzan los 85°C, el contacto cambia de estado y se genera una secuencia lógica para abrir la válvula de descargue de carbonato de calcio y así permitir la caída del mismo a la cuba caliente. De manera similar a lo ocurrido en la tolva de resina, el PLC activa el sistema de fluidificación mediante la activación de la válvula destinada para tal fin.

Cuando la temperatura en la cuba caliente alcanza los 96°C, se realiza la adición de los compuestos menores en forma manual.

A los 106°C el compuesto pasa a la cuba fría del mezclador, rutina que es independiente al programa del PLC. Una vez el material esta en la cuba fría, su temperatura comienza a disminuir, y cuando llega a los 55°C, el PLC, gracias a la ayuda del controlador de temperatura de la cuba fría, activa la válvula de descargue del pulverizado permitiendo la caída del mismo. Y de manera similar a los dos casos anteriores, el PLC activa la válvula del sistema de fluidificación de dicha tolva.

Una vez el material alcanza los 50°C, pasa a la tolva de almacenamiento de compuesto donde un transportador helicoidal lo deposita en el big bag de almacenamiento de compuesto. El PLC maneja los estados del transportador monitoreando tanto el sensor de nivel en la tolva de almacenamiento de compuesto como también la lectura de las celdas de carga que sostienen en big bag de almacenamiento; cuando estas detectan que el material almacenado a alcanzado la capacidad máxima del big bag, el PLC apaga el transportador helicoidal y una señal lumino-sonora indica al operador que se debe cambiar el big bag de almacenamiento, esta maniobra se ejecuta cambiando el estado del interruptor de cambio de big bag y retornándolo a su posición inicial una vez se haya instalado el nuevo big bag.

## **9.2 DIAGRAMA DE FLUJO**

El diagrama de flujo del funcionamiento del sistema será segmentado a fin de tener una visión mas clara de cada uno de los subprocesos que incluye el proceso de mezclado.





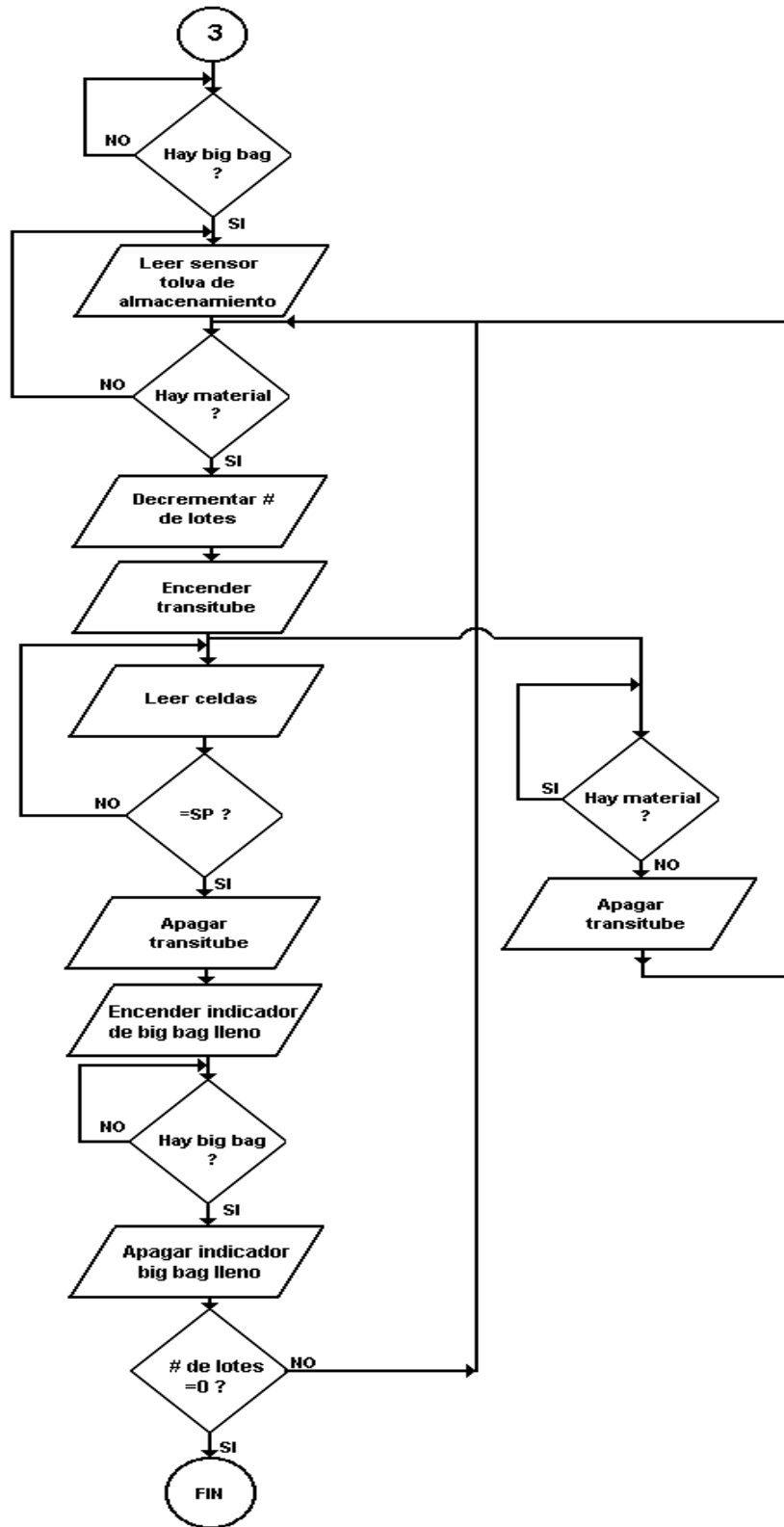


Figura 58. Diagrama de flujo descarga

### 9.3 DIAGRAMA DE CONTACTOS

Para la elaboración del diagrama de contactos que controlará la lógica del PLC, se asignan las direcciones de memoria de la CPU 214 disponible en el laboratorio de control automático de la CUTB. El siguiente cuadro muestra dicha asignación:

**Cuadro 10.** Asignaciones de memoria CPU 214.

LISTADO DE ENTRADAS Y SALIDAS	
POSICIÓN DE MEMORIA	DESCRIPCIÓN
I0.0	Sensor de nivel de vaciasacos PVC 1
I0.1	Sensor de nivel de vaciasacos PVC 2
I0.2	Sensor de nivel de vaciasacos CaCO <sub>3</sub>
I0.3	Sensor de nivel de vaciasacos Pulverizado
I0.4	Sensor de nivel bajo almacen CaCO <sub>3</sub>
I0.5	Sensor de nivel alto almacen CaCO <sub>3</sub>
I0.6	Sensor de nivel de almacenamiento de compuesto
I0.7	Válvula de descarga PVC
I1.0	Set point de temperatura cuba caliente
I1.1	Set point de temperatura cuba fría
I1.2	Interruptor de cambio de big bag
I1.3	Habilitador de carga
I1.4	Habilitador de descarga
I1.5	
Q0.0	Válvula de carga de PVC 1
Q0.1	Válvula de carga de PVC 2
Q0.2	Válvula de carga de CaCO <sub>3</sub>
Q0.3	Válvula de carga de pulverizado
Q0.4	Blower N° 1
Q0.5	Blower N° 2

Q0.6	Tornillo dosificador
Q0.7	Indicación de ready
Q1.0	Fluidificador de resina
Q1.1	Indicador de big bag lleno
Q0.0**	Válvula de descarga de carbonato
Q0.1**	Fluidificador de CaCO <sub>3</sub>
Q0.2**	Válvula de descarga de pulverizado
Q0.3**	Fluidificador de pulverizado
Q0.4**	Transportador helicoidal
AIW0	Celdas de carga de resina
AIW2	Celdas de carga de CaCO <sub>3</sub>
AIW4	Celdas de carga de pulverizado
AIW0**	Celdas de carga compuesto terminado
VW0	Numero de lotes*
VD2	Cantidad de resina PVC 1*
VD6	Cantidad de resina PVC 2*
VD10	Cantidad de CaCO <sub>3</sub> *
VD14	Cantidad de pulverizado*
VD18	Capacidad del big bag de almacenamiento*

\* Valores transferidos por el panel OP7 (setpoints de cada una de las recetas)

El programa que se presenta a continuación fue escrito en instrucciones SIMATIC CPU 214, y ejecuta una rutina base, a partir de los parámetros que el panel de operador OP7 debería introducir en las correspondientes direcciones de memoria para así elaborar cada una de las recetas correspondientes. Una vez se ha terminado la rutina base, el programa pasa a modo STOP la CPU, de tal manera que se encuentre lista para recibir de nuevo los datos transferidos por el panel y así comenzar a ejecutar de nuevo dicha rutina.



















#### **9.4 PLANOS DEL SISTEMA**

En las siguientes páginas se muestran los planos de instrumentación, y control del sistema, además se ilustra una disposición de los elementos en el gabinete de la estación de operador.

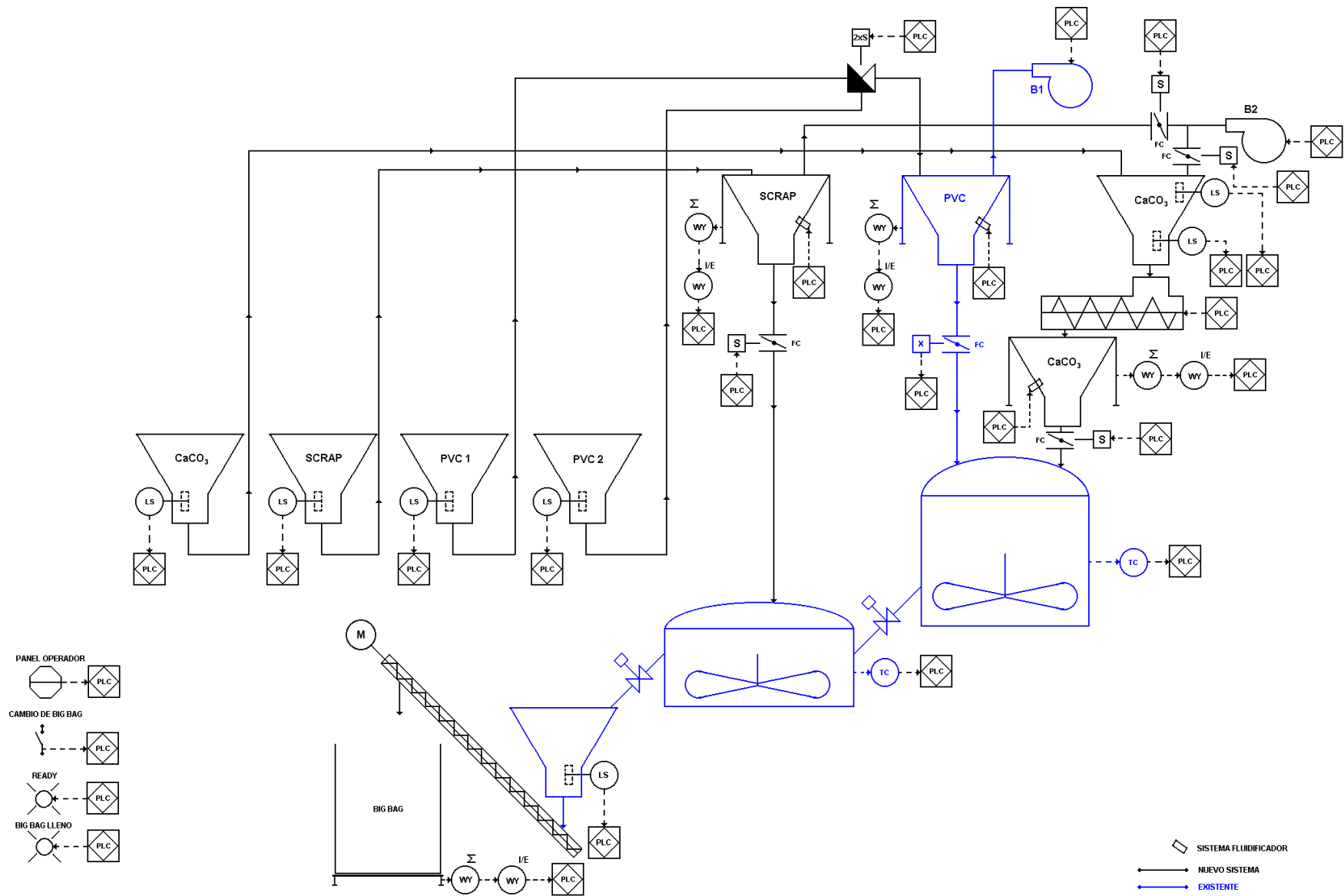


Figura 59. Diagrama de instrumentación

**Cuadro 11.** Lista de elementos para control

<b>LISTA DE ELEMENTOS</b>	
<b>SSR1</b>	Relé válvula de carga PVC1
<b>SSR2</b>	Rele válvula de carga PVC2
<b>SSR3</b>	Rele valvula de carga CaCO <sub>3</sub>
<b>SSR4</b>	Rele válvula de carga de pulverizado
<b>SSR5</b>	Rele Tornillo dosificador
<b>SSR6</b>	Rele válvula de descarga CaCO <sub>3</sub>
<b>SSR7</b>	Rele de válvula de descarga de pulverizado
<b>SSR8</b>	Rele fluidificador de resina
<b>SSR9</b>	Rele fluidificador CaCO <sub>3</sub>
<b>SSR10</b>	Rele fluidificador pulverizado
<b>C1</b>	Contactador blower 1
<b>C2</b>	Contactador blower 2
<b>C3</b>	Contactador transportador helicoidal
<b>O1</b>	Bombillo indicador de ready
<b>O2</b>	Alarma de indicacion de big bag lleno
<b>I1</b>	Contacto sensor de nivel vaciasacos PVC1
<b>I2</b>	Contacto sensor de nivel vaciasacos PVC2
<b>I3</b>	Contacto sensor de nivel vaciasacos CaCO <sub>3</sub>
<b>I4</b>	Contacto sensor de nivel vaciasacos pulverizado
<b>I5</b>	Contacto sensor de nivel bajo almacenamiento de CaCO <sub>3</sub>
<b>I6</b>	Contacto sensor de nivel alto almacenamiento de CaCO <sub>3</sub>
<b>I7</b>	Contacto sensor de nivel tolva de almacenamiento de compuesto
<b>I8</b>	Señal de activacion de la válvula de descarga de resina
<b>I9</b>	Contacto controlador de temperatura cuba caliente
<b>I10</b>	Contacto controlador de temperatura cuba fria
<b>I11</b>	Interruptor de cambio de big bag
<b>W1</b>	Señal de entrada modulo acondicionador pesaje de resina
<b>W2</b>	Señal de entrada modulo acondicionador pesaje de CaCO <sub>3</sub>
<b>W3</b>	Señal de entrada modulo acondicionador pesaje de pulverizado
<b>W4</b>	Señal de entrada modulo acondicionador pesaje de compuesto

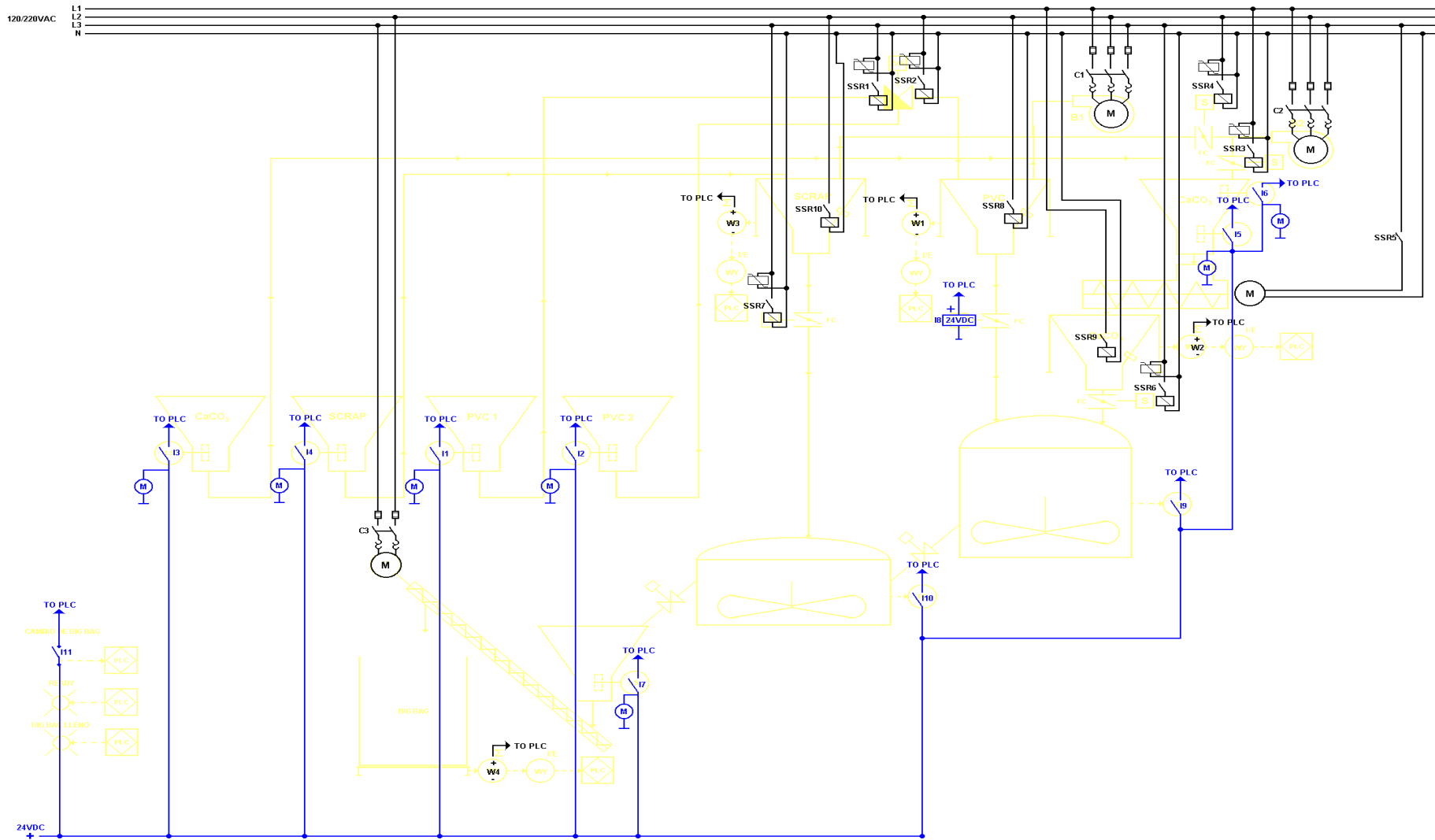


Figura 60. Esquema de mando del sistema



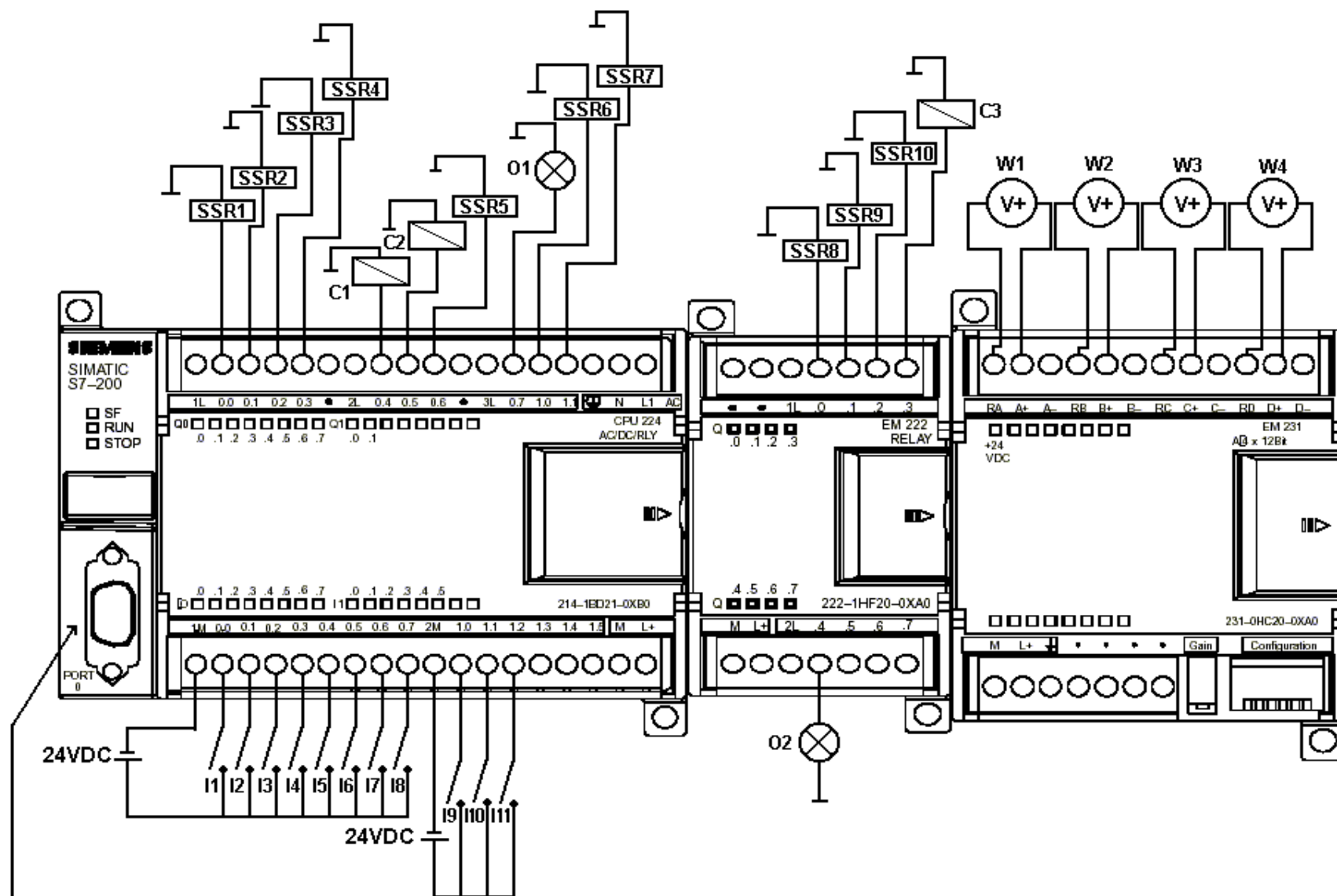
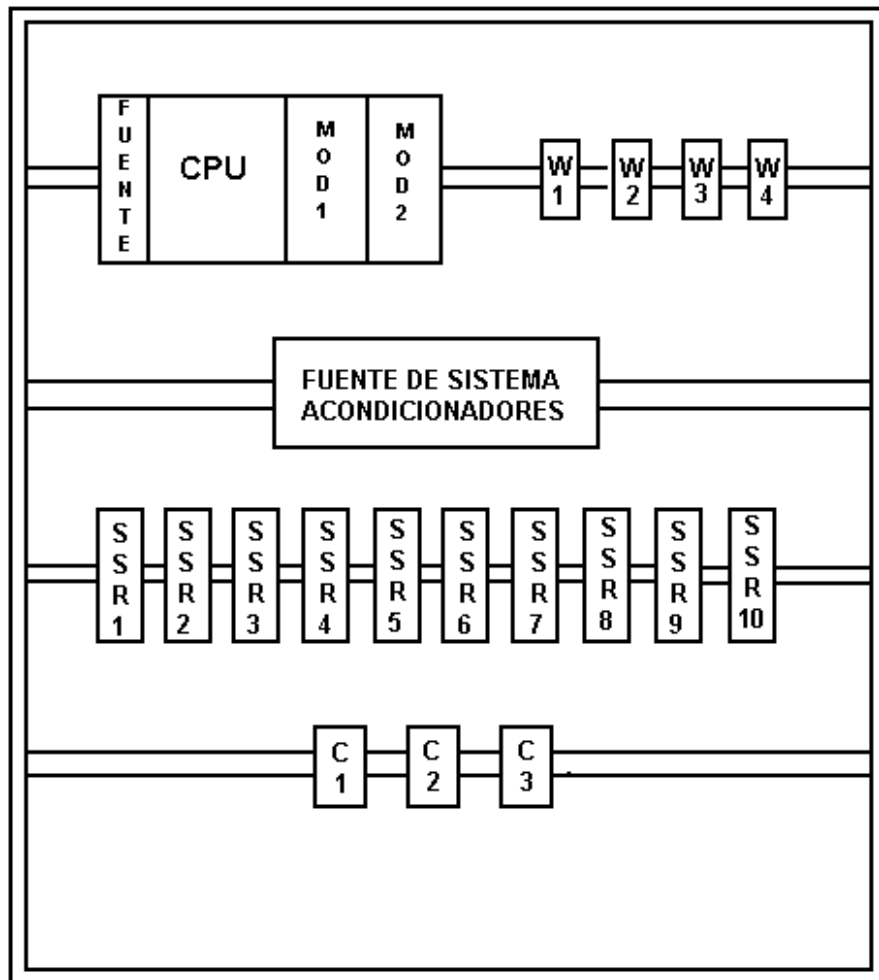


Figura 61. Cableado del PLC CPU 224.

CONEXION DEL PANEL



**Figura 62.** Disposición de elementos en el gabinete

## 10. COTIZACIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL MEZCLADOR MCR 40/100

Después de haber seleccionado cada uno de los elementos del sistema automático para la elaboración de compuesto, se hizo contacto con los diferentes proveedores de los dispositivos a nivel nacional e internacional, seleccionando entre distintas alternativas, bajo criterios de mejor calidad y menor costo, la propuesta que a continuación se presenta:

**Cuadro 12.** Cotización de equipos eléctricos y electrónicos para la automatización del mezclador MCR 40/100

Transporte de aditivos				
Item	Cantidad	Valor unitario	Valor Total	Proveedor
Sensores de nivel	4	1.223.600	4.894.400	Colsein
Blower 2	1	12.013.100	12.013.100	Cole Parmer
Subtotal			16.907.500	

<b>Dosificación y Pesaje</b>				
<b>Item</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor Total</b>	<b>Proveedor</b>
Valvulas Mariposa de 2 ½	2	2.289.000	4.578.000	T & T
Valvulas Mariposa de 4	2	4.140.000	8.280.000	T & T
Valvula Diversora	1	3.818.000	3.818.000	T & T
SSR	10	30.000	300.000	Electricas AC
Arrancadores motores blowers	2	325.000	650.000	Electricas AC
Sensores de nivel tolva alm. CaCO3	2	1.223.600	2.447.200	Colsein
Tornillo Dosificador	1	12.000.000	12.000.000	K-tron
Unidad de succion	1	12.013.100	12.013.100	DMI
Sistemas fluidificadores (carbonato y scrap)	2	3.210.800	6.421.600	Myrlen inc
Sistemas fluidificadores (resina)	1	4.452.800	4.452.800	Myrlen inc
Celdas de carga	13	954.500	12.408.500	Colsein
Sumador de celdas	4	710.700	2.842.800	Colsein
Acondicionador Analógico	4	710.700	2.842.800	Colsein
Fuente para sumadores	1	345.000	345.000	Colsein
Subtotal			73.399.800	

<b>PLC</b>				
<b>Item</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor Total</b>	<b>Proveedor</b>
CPU 224; 110/220 Vac; 8 MB de memoria; 14DI/10DO	1	909.286	909.286	Inelmec
Tarjeta DI EM 222 8 DO, Salidas por Rele	1	292.857	292.857	Inelmec
Tarjeta AI EM 231 4 DO, entradas análogas	1	1.321.429	1.321.429	Inelmec
Memoria EEPROM	1	278.571	278.571	Inelmec
Fuente Siemens	1	516.143	516.143	Inelmec
Panel de Operación	1	3.471.479	3.471.479	Inelmec
Bornas dobles, frenos de bornas, tapas de bornas	1	779.175	779.175	Inelmec
Protecciones ( disyuntores monopolares y bipolar)	1	140.071	140.071	Inelmec
Rieles, canaletas, aisladores, barraje y tornilleria	1	671.429	671.429	Inelmec
Subtotal			8.380.440	

<b>Gabinete</b>				
<b>Item</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor Total</b>	<b>Proveedor</b>
Tablero Rittal 600X2000X600 ref: 8686,600	1	1.362.411	1.362.411	Inelmec
Juego de Tapas laterales ref: 8186.200	1	331.025	331.025	Inelmec
Zocalos frontales 100 mm ref:8601,600	1	79.564	79.564	Inelmec
Zocalos laterales 100 mm ref: 8601,060	1	54.680	54.680	Inelmec
Kit de iluminacion Ref:4139.140	1	314.662	314.662	Inelmec
Cable de alimentacion ref: 4315.100	1	74.816	74.816	Inelmec
Interruptor de puerta 4315.300	1	78.811	78.811	Inelmec
Ventilador marca Rittal ref: 3323,115	1	319.565	319.565	Inelmec
Filtro de salida Rittal ref:3323,200	1	69.086	69.086	Inelmec
Subtotal			2.684.620	

<b>Descarga</b>				
<b>Item</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor Total</b>	<b>Proveedor</b>
Transportador Helicoidal	1	3.500.000	3.500.000	DMI
Sensor de nivel bajo	1	1.223.600	1.223.600	Colsein
Subtotal			4.723.600	

<b>TOTAL</b>	<b>106.095.960</b>
--------------	--------------------

\* Estos precios están dados en pesos colombianos y no incluyen I.V.A. ni gastos de envío

## 11. CONCLUSIONES

- Luego de haber analizado el procedimiento para la alimentación y descarga del mezclador MCR 40/100 de la empresa TUVINIL de Colombia S.A., se llegó a la conclusión de que el manejo de materia prima en bolsas de poca capacidad (máximo 25 Kg) no es el más apropiado a seguir utilizando, ya que tanto en términos económicos como de tiempo representa pérdidas para la empresa.

En el primer caso, se desperdicia material debido a la manipulación de las bolsas y además, según información comunicada por la empresa, la presentación en big bag les resulta más económica a la hora de la compra de la materia prima.

En el segundo caso, el simple hecho de que se necesite alimentar y descargar el mezclador manualmente por cada lote de compuesto elaborado, implica que los operadores deben realizar esta operación cada 15 minutos, mientras que si se utilizan big bags (mediante el sistema de alimentación y descarga anteriormente diseñado), dicho procedimiento se debe realizar solo cuando se agote el material que estos contienen; 850Kg para la resina PVC y 625 Kg para el carbonato de calcio y el pulverizado. Esto quiere decir que un big bag de resina PVC duraría 6.8 lotes, uno de carbonato de calcio, tomando un prom 25 kg. por receta, alcanzaría para 25 lotes y uno de pulverizado, tomando la cantidad máxima a utilizar (60Kg), 10.4 lotes. En términos de tiempo, considerando que nada anormal ocurra (incidentes aleatorios) y basándose en los datos expuestos en el primer capítulo, un big bag de resina PVC duraría aproximadamente 1 hora y 45 minutos,

uno de carbonato de calcio 6 horas 15 y uno de pulverizado aproximadamente 2 horas 30 minutos, lo que sin duda alguna resulta una gran ventaja en lo respecta a la parte operacional del proceso.

- La secuencia actual que sigue el mezclador MCR 40/100 para la elaboración de los lotes de compuesto no fue alterada, por el contrario esta se utilizó como guía para el diseño del nuevo sistema de alimentación y descarga del mismo. Esto implica que si se quiere aumentar el número de lotes que se fabrican por hora se debe mejorar el tiempo que el material demora dentro del mezclador; en la cuba caliente el tiempo permanece aproximadamente constante, pero en la fría se encuentra el tiempo crítico, ya que este depende de la temperatura del agua del sistema de refrigeración que recorre toda la planta; si hay muchas maquinarias funcionando que requieren de este sistema de refrigeración al mismo tiempo, el agua se calienta y hace que el tiempo de enfriado de la cuba del mezclador destinada para tal fin aumente.

- Debido a que por motivos de seguridad, las unidades de succión no deben funcionar durante periodos extendidos bajo taponamientos de las tuberías ó en vacío, se hace estrictamente necesario el uso de las tolvas vacia-sacos. Estas en el primer caso evitan el taponamiento que se ocasionaría por la succión de las paredes del big bag, en el caso de dicha succión se efectuara directamente desde este. Y en el segundo caso, gracias al sensor de nivel ubicado en la parte inferior de cada una de las tolvas vacia-sacos que señala la ausencia de material necesario, los blowers no trabajan en vacío.

- Las válvulas de bloqueo seleccionadas para el diseño del nuevo sistema de alimentación del mezclador pueden ser utilizadas en una futura ampliación del proyecto tal como la implementación de silos, ya que el transporte de materiales en este tipo de sistema se hace comúnmente mediante redes neumáticas a presión donde este tipo de válvulas también son ampliamente utilizadas.
- La precisión de los sistemas de pesaje diseñados está dada por la sensibilidad de las celdas de carga y la rapidez con que se corte el flujo de material. Según los datos técnicos suministrados por el fabricante de las celdas, el error combinado de estas es de 0.017 Kg, debido a que las cantidades promedio de material que se manejan en el proceso son mucho mayores, este error se puede despreciar, y la precisión viene dada entonces por la velocidad de los actuadores de las válvulas de bloqueo y por el correcto aislamiento mecánico que permita el normal funcionamiento de las celdas.
- El uso de los sistemas fluidificadores se hace indispensable debido a que la acumulación de material en las tolvas desbalancea el sistema de pesaje ya que dicho material acumulado genera un offset en la lectura del peso correspondiente que altera la cantidad de material al cargar.
- La implementación del PLC en el sistema de alimentación y descarga del mezclador se puede adaptar a futuras ampliaciones de la planta debido a que este



permite la incorporación de nuevos módulos para ejercer control sobre las nuevas aplicaciones que se requieran.

## 12. RECOMENDACIONES

- Con el propósito de disminuir el tiempo de elaboración de los lotes de compuesto se debe optimizar la red de agua de enfriamiento que circula por la planta y se le suministra al mezclador.
- Al implementar los sensores de nivel tipo paleta se debe asegurar que el material no caiga directamente sobre el mismo ya que esto puede causar su avería. En el caso en que sea inevitable su instalación en la línea del flujo de material se debe utilizar una cubierta protectora.
- Se debe tener estricto cuidado con el aislamiento mecánico de las tolvas de pesaje para así evitar la descalibración de las celdas de carga.

### **13. OBSERVACIONES**

- Para obtener mas detalles acerca de las estructuras mecánicas, selección de blowers, sistemas de transporte dosificación y fluidificación, se recomienda consultar la tesis titulada “DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA PARA LA PLANTA DE PVC DE TUVINIL DE COLOMBIA S.A.”, que fue realizada paralelamente con nuestro diseño.
- El diseño presentado anteriormente se puede encontrar sujeto a modificaciones en el momento de la implementación del sistema.
- Adjunto al documento se entrega un prototipo del sistema diseñado, con el fin de realizar pruebas de laboratorio con el PLC CPU 214 disponible en el laboratorio de control automático de la CUTB.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALCOBER, J. Sistemas de Pesaje Automática e Instrumentación. Edición 313: 2000. Pág. 81-91.
  
- MANDADO, E., ACEVEDO, J. y PÉREZ, S. Controladores Lógicos y Autómatas Programables. 2ª edición: Barcelona: Marcombo Boixareu Editores, 1992
  
- SMITH, A. y CORRIPIO, A. Control Automático de Procesos. 6ª edición: México: Limusa, 1999.  
Capitulo 8. Técnicas adicionales de control Pág. 419-505  
Apéndice A. Símbolos y nomenclatura para los instrumentos Pág. 627-633  
Apéndice C. Sensores, transmisores y válvulas de control Pág. 647-701
  
- VALENCIA, H. Controladores Lógicos Programables (PLC): Medellín: U.P.B., 1992
  
- Catálogo Airsweep Systems 2000
  
- Catálogo Cole Parmer 2002
  
- Catálogo DMI 2002
  
- Catálogo Dwyer 2001

- Catálogo Endress+Hause
- Catalogo Kele 2000.
- Catálogo K Tron 2001
- Catálogo Phoenix Contact 2001
- Catálogo Scaime 2001
- Catalogo Siemens 2000
- [www.industrialtext.com](http://www.industrialtext.com)

# **ANEXOS**

