

## DISEÑO DE SISTEMA DE DOSIFICACIÓN PARA ADITIVOS EN POLVO PARA PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE VINILO

### DESIGN OF A DOSING SYSTEM FOR POWDER ADDITIVES FOR THE PRODUCTION OF POLYVINYL CHLORIDE

CHURQUI RAMOS, E. J., LAURA RAMOS, S. D.

## RESUMEN

**S**e abordó el diseño de una dosificadora de sólidos con el objetivo de mejorar la producción de PVC. La propuesta se centró en una dosificación por gravedad, utilizando estructuras de soporte y dosificación robustas, tolvas de carga y descarga eficientes, un sistema de peso preciso y una automatización avanzada. El primer paso en el desarrollo de la dosificadora fue el diseño estructural. Se creó una estructura de soporte sólida que aseguró la estabilidad del sistema durante las operaciones de carga y descarga, además de garantizar la ergonomía para facilitar el mantenimiento y la limpieza. El corazón de la solución fue la dosificación por gravedad. Se implementaron sistemas de flujo controlado para lograr una distribución uniforme de los sólidos en el proceso de producción de PVC. Esto se logró mediante tolvas de carga cuidadosamente diseñadas con mecanismos de apertura/cierre que minimizaron el desperdicio y la contaminación. Para asegurar una medición precisa, se incorporaron celdas de carga de alta precisión en el sistema de peso. Esto permitió una medición exacta y en tiempo real de los materiales durante todo el ciclo de producción, garantizando la calidad y consistencia del producto final. La automatización fue un aspecto clave del diseño. Se utilizó un Controlador Lógico Programable (PLC) para ajustar los flujos de dosificación, monitorear el proceso y ajustar los parámetros en tiempo real. Esto aumentó la eficiencia y la flexibilidad del sistema, mejorando significativamente la productividad. Se presentó un diseño integral y altamente eficiente de una dosificadora de sólidos para la producción de PVC. Mediante el diseño, estructuras de soporte y dosificación sólidas, tolvas de carga y descarga eficientes, sistema de peso preciso y automatización mediante PLC, se creó una solución que mejoró significativamente la producción y la calidad del PVC. El diseño proporcionó una medición precisa, lo que se tradujo en un producto final de alta calidad y consistencia. La automatización avanzada mediante PLC aumentó la eficiencia operativa y la adaptabilidad del sistema a las necesidades cambiantes de producción.

## ABSTRACT

**T**he design of a solids dosing machine was addressed with the aim of improving the production of PVC. The proposal focused on gravity dosing, using robust dosing and support structures, efficient loading and unloading hoppers, a precise weighing system and advanced automation. The first step in the development of the dosage machine, was the structural design. A solid support structure was created that ensured the stability of the system during loading and unloading operations, as well as guaranteeing ergonomics to facilitate maintenance and cleaning. The heart of the solution was gravity dosing. Controlled flow systems were implemented to achieve a uniform distribution of solids in the PVC production process. This was achieved through carefully designed loading hoppers with open/close mechanisms that minimized waste and contamination. To ensure accurate measurement, high-precision load cells have been incorporated into the weighing system. This allowed for accurate, real-time measurement of materials throughout the production cycle, ensuring the quality and consistency of the final product. Automation was a key aspect of the design. A Programmable Logic Controller (PLC) was used to adjust dosing flows, monitor the process, and adjust parameters in real time. This increased the efficiency and flexibility of the system, significantly improving productivity. An integral and highly efficient design of a solids dosing machine for the production of PVC was presented. Through design, robust metering and support structures, efficient loading and unloading hoppers, precise weighing system and PLC automation, a solution was created that significantly improved PVC production and quality. The design provided accurate measurement, resulting in a high-quality, consistent end product. Advanced PLC automation increased operational efficiency and system adaptability to changing production needs.

## PALABRAS CLAVE

Dosificadora de sólidos  
Producción de PVC  
Dosificación por gravedad  
Automatización mediante PLC  
Mejora de la productividad

## KEYWORDS

Solids Dosifier  
PVC Production  
Gravity Dosing  
PLC Automation  
Productivity Enhancement

## INTRODUCCIÓN

**E**n la fabricación de tuberías PVC el proceso inicia con el ingreso de las materias primas a las bodegas de la empresa. Posteriormente se revisa la calidad de las materias primas y se envía a la planta de mezcla, allí se realiza el proceso de mezclado de los diferentes compuestos a utilizar en extrusión, dependiendo de la tubería que se requiera producir. Las principales materias primas son: Policloruro de vinilo (PVC), estabilizantes térmicos, lubricantes de plástico, carbonato de calcio, acrílicos y pigmentos. La mezcla que se fabrica se transporta neumáticamente por tuberías y se envía a silos de almacenamiento los cuales son conectados a las extrusoras. En esta fase se suministran a las tolvas que dosifican el compuesto que alimenta la extrusora. El proceso de extrusión consiste en calentar el interior del barril para elevar la temperatura y volver la mezcla una masa fundida plástica, dándole una forma definida mediante un molde, en este caso en tubos. La fase de enfriamiento consiste en un tanque de refrigeración donde, por medio de aspersión de agua a bajas temperaturas, se fijan formas, diámetros de la tubería y se disminuye la temperatura del plástico, obteniendo la rigidez necesaria que es el tubo ya formado. En el paso de rotulado y corte del tubo, los tubos son arrastrados por unos jaladores que van en línea y que pasan por unos codificadores que imprimen un rótulo que identifica el tubo con la marca y, posteriormente, entra en operación la sierra para cortar la longitud deseada. Por último, se revisa y se empaqueta el tubo para ser enviado a las bodegas y de allí queda en disposición para ser comercializados a los clientes. (Pavco, 2017)

Para la fabricación de tuberías y accesorios en PVC se necesita de una mezcla (materia prima) definida de acuerdo al producto terminado requerido o receta manejada. Para esto existe un proceso de preparación de la materia prima, en donde se toman en cuenta factores que son primordiales para su acondicionamiento como son: temperatura y pesos de cada componente químico que satisface una fórmula para la obtención de materia prima de primera calidad. El proceso manual de dosificación de aditivos para el PVC es una técnica tradicional: mediante una balanza electrónica se hace el pesado de los diferentes aditivos que influyen en las propiedades de la producción. Para la fabricación de cada uno de los productos intervienen diferentes materias primas, variando la materia prima y la formulación acorde a los requerimientos del producto. (León & Simbaña, 2011)

Durante su procesado (polimerizado), se añaden diferentes tipos de aditivos al PVC, dependiendo del cometido o función que deba realizar el componente, antes de la confección del producto final. La correcta combinación de estas sustancias permite la aplicación del PVC en un sinnúmero de aplicaciones y utensilios empleados en todos los ámbitos: desde donde se requiere máxima higiene, como en las tuberías para la conducción de agua potable, hasta en productos que requieren una elevada resistencia como, por ejemplo: perfiles de ventana. (REHAU, 2022).

La mezcla es una parte fundamental del proceso. El diseño de un sistema dosificación de aditivos puede evitar un embotellamiento en la fabricación ya que en industrias plásticas este puede ser considerado el corazón de la planta Industrial. El mezclador provee de materia prima a todas las líneas de producción existentes y de este depende la calidad y rendimiento en las etapas de elaboración del producto (León & Simbaña, 2012). El desarrollo de este sistema de dosificación de aditivos se llevó a cabo con el fin de solucionar los problemas de exactitud en las mediciones de peso de las cantidades de aditivos que deben ser preparadas y suministradas día a día por los operarios, además de erradicar el desperdicio que se produce por la manipulación de los aditivos mientras estos son pesados por el operario. Este sistema se basa en una red de tres sistemas electromecánicos

con la capacidad de cargar, pesar y suministrar, de forma automática, la cantidad requerida según la receta escogida por el usuario.

## DESARROLLO

Los sistemas Dosificadores Gravimétricos automáticos de aditivos en polvo son equipos para la dosificación precisa en la producción de policloruro de vinilo, PVC, que permiten pesar la cantidad a usarse en un lote, evitando el error del pesaje manual, pesando de 5 a 10 tipos de polvo o gránulos, mejorando la calidad del producto final y optimizando la eficiencia del proceso.

Se seleccionó el método de dosificación gravimétrica ya que se adapta a las necesidades mínimas del proceso. Las mediciones de peso se realizaron utilizando celdas de carga. Las celdas de carga son dispositivos transductores electrónicos. El número de celdas de carga fueron tres para brindar estabilidad en la estructura de la tolva de alimentación. El modelo FCOL20 de la Empresa Laumas fue seleccionado debido a que es una celda compacta y que cumple con la mayoría de los requerimientos de entradas y salidas. La celda de carga emite una señal en mV que requiere ser convertida en una señal de 4 a 20 mA para que el PLC las reciba, procese y ejecute su respectivo control. El transmisor de peso TLB4 de la Empresa Laumas tiene 4 canales independientes para células de carga: monitorización y gestión directa de las distintas células de carga conectadas.

Para la selección del sistema de descarga de la tolva de alimentación se tomaron en cuenta los requisitos como la capacidad de los pesos, la presión de operación y los materiales de construcción compatibles con el proceso específico de los actuadores.

La válvula de mariposa DN150, de diámetro 150 mm, de actuador neumático de doble efecto de la empresa Omal Automation, es adecuada por el tipo de operación que requiere el sistema de descarga para una apertura y cierre rápidos, además de las características adicionales que tiene la válvula mariposa sobre las demás válvulas de aislamiento rotativas.

La válvula esclusa rotativa se utilizó por sus características de trabajo en la rotación continua de polvo para el transporte neumático del sistema de descarga. La esclusa rotativa seleccionada es de la serie 150-PN 20 con accionamiento de motor, de la empresa Giron Saic diámetro 150 mm, tipo cuña sólida (o flexible), acero carbono fundido, ASTM A216, extremos bridados, bonete abulonado, vástago ascendente, rosca exterior y yugo.

Para el Sistema de fluidificación se asumió un suministro mínimo de 40 psi, se seleccionó la instalación de Airsweeps VA-06C de la Empresa Laumas para proveer flujo positivo. Se localizaron tres inyectores en las respectivas tolvas, en la sección cónica, a una altura de 100 mm desde la descarga, igualmente espaciados 120° entre sí. El consumo que se requirió fue de 30 l/min de fluido comprimido.

El diseño de los soportes de la tolva de alimentación se realizó bajo el criterio de pandeo inelástico de columnas cargadas excéntricamente, tomando en cuenta las necesidades que la máquina requiere.

El sistema de dosificación de aditivos

El un sistema de descargue estandarizado, estas estaciones están conformadas por una estructura descargadora de sacos de material proveniente de los supersacos, Big bag, modelo C3 de 1,44 x 0,99 x 0,99 m con volumen de 1.41 m<sup>3</sup>, con boca abierta y válvula de descarga. Esta estructura se encuentra fabricada en acero de carbono AISI 304, capacidad máxima 1,5 ton. Además de la estructura, se encuentra una tolva de almacenaje, en forma cónica, de dimensiones adecuadas.

El grupo de agitación se compone de pétalos de acero de carbono accionados por cilindros neumáticos. Este dispositivo se conectó al sistema neumático de la línea utilizando una conexión eléctrica auxiliar de baja tensión. El funcionamiento general de presión del aire es de 6 a 8 bar.

Se seleccionó el cilindro de doble efecto SMC, de diámetro 125mm, con un consumo por los 18 cilindros necesarios de 11.92 m<sup>3</sup> /min.

El transportador consta de los siguientes elementos:

Funda del resorte, resorte helicoidal, carcasa superior, sensor de membrana, canastilla de soporte axial y porta alma, alma de nylon, motor eléctrico

Los alimentadores helicoidales escogidos para la tolva de pesaje de los aditivos, son del modelo A-49, con 60 mm de diámetro externo, de flujo entre 90 y 450 kg/h a 1120 rpm y 1.8 HP.

Para cumplir con las demandas se ha seleccionado un compresor de tornillo lubricado con aceite GA 180-10 bar, Atlas Copco, y un tanque de almacenamiento de 10000 litros de la marca Kaeser.

Se seleccionó la Electroválvula neumática 5/2 vías, modular de 20 espacios SMC, por la facilidad de montaje y conexión eléctrica. Estas tienen como función realizar el control de todos los actuadores/cargas neumáticas que posee la máquina.

**Diseño del sistema de dosificación de aditivos**

Se diseñó el CAD del sistema de dosificación de aditivos en SolidWorks

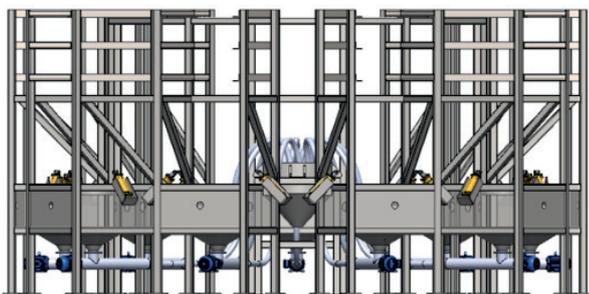


Figura 1. Vista lateral derecha del sistema de dosificación de aditivos

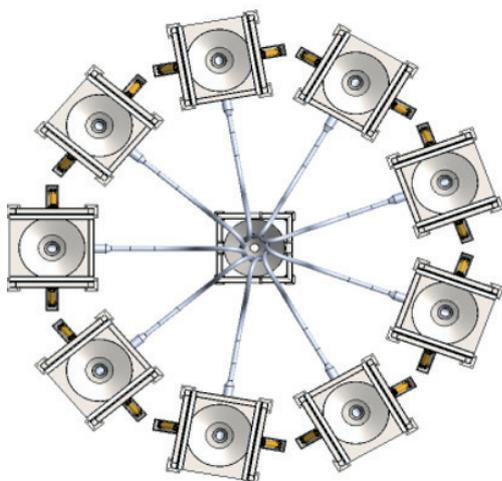


Figura 2. Vista superior del sistema de dosificación de aditivos

Se diseñaron la estructura mecánica de soporte y la tolva de alimentación, cuya capacidad máxima es de 100 kg y un volumen 0,0238 m<sup>3</sup>. El tipo de diseño del contenedor consta de un cono truncado inferior y una sección con forma de cilindro superior. Se consideraron las medidas de 1 m de diámetro mayor, 0,12 m de diámetro menor, 0,436 m de altura máxima y 0,471m de

altura del cono truncado. La presión que la tolva soporta en el fondo es 0.19 bar y 95300 N de fuerza. Se determinaron el momento flector de 0 Nm y la fuerza cortante 659,557 N de la tolva de alimentación utilizando acero inoxidable AISI 304 de 3 mm, mediante la simulación de la tensión de Von Mises, con la carga de 100 kg y espesor 3 mm del material AISI 304.

En base a las necesidades que requiere el diseño, se propuso la siguiente geometría de la estructura:



Figura 3. Esquema estructural de los descargadores

El dimensionamiento de la tolva superior de los descargadores, para 50 kg y volumen de 0.011 m<sup>3</sup>, de forma cónica truncada tiene como dimensiones: diámetro mayor 1,06 m, diámetro menor 0,45 m, altura de 0,11 m. La presión que la tolva soporta en el fondo es de 0,045 bar y de 21242 N de fuerza. Se determinaron los momentos flectores de 0 Nm y la fuerza cortante de 9268 N de la tolva de alimentación. Se utilizó acero inoxidable AISI 304 de 3 mm, mediante la simulación de la tensión de Von Mises, con la carga de 50 kg y espesor 3 mm del material AISI 304.

En el dimensionamiento de la tolva inferior de los descargadores, para 50 kg y volumen de 0.011 m<sup>3</sup>, de forma cónica truncada, son las dimensiones: diámetro mayor 1,11 m, diámetro menor 0,25 m y una altura de 0,25 m. La presión que la tolva soporta en el fondo es 0,01 bar y 46352 N de fuerza. Se determinaron los momentos flectores 0 Nm y la fuerza cortante 8457N de la tolva de alimentación. Se utilizó acero inoxidable AISI 304 de 3 mm, mediante la simulación de la tensión de Von Mises, con la carga de 50 kg y espesor 3 mm del material AISI 304.

El factor de seguridad calculado para el espesor de las tolvas de alimentación, superior e inferior de los cargadores son confiables y el espesor es el adecuado. El factor de seguridad indica que las dos primeras apenas llegan a soportar una décima parte y la tercera llega a una octava parte de su esfuerzo de fluencia, lo cual garantiza que el material soportará, adicionalmente, su propio peso y lograr durar más, evitando así la fatiga.

Teniendo en cuenta los requerimientos del sistema, el diseño del soporte de los descargadores se realizó de acuerdo con el criterio de pandeo inelástico de la columna cargada excéntricamente. Para su respectivo análisis se utilizó el complemento "Simulación" de SolidWorks que permite simular las fuerzas y los esfuerzos que están presente en la estructura. La estructura soporta el peso de los compuestos, así como también el peso de las diferentes capas y estructuras extras que componen el descargador. La base de las patas de soporte del descargador está considerada para la simulación como apoyo fijo debido a que tiene contacto directo con el suelo. En la simulación de la tensión de Von Mises, al aplicar una carga de 1000 kg y espesor 3 mm del material AISI 304, se observó que,

las fuerzas simuladas en la tolva, no generan un esfuerzo que supere el límite estático, siendo que toda la estructura está en la zona elástica.



Figura 4. Esquema principal del sistema

El programa principal del PLC se estructura en cinco etapas principales: ingreso al sistema, configuración y selección de receta, habilitación e inicio ciclo, ciclo de pesaje, dosificación y ciclo de descarga de los aditivos. Siendo la balanza un proceso compartido para la dosificación a cada uno de los aditivos.

El funcionamiento de la máquina se realizó pensando en una operación con un sistema de control automático, para los cuales se diseñó un sistema de control con un Controlador Lógico Programable, PLC, e interfaz hombre máquina, HMI, y elementos de control electromecánico como contactores, relés térmicos, los cuales, mediante un circuito, permiten el funcionamiento de la máquina.

De igual manera se utilizó un tablero de mando para el control automático, así como también paros de emergencia, garantizando un manejo fácil y seguro de todo el sistema. Se resalta que se utilizó un sistema con PLC y HMI, el cual permite un panel de control con pocos elementos de control electromecánicos, ayudando a optimizar costos como también el espacio dentro del tablero de control. Está constituido por dos circuitos principales que son: circuito de potencia y circuito de control.

Selección de subalimentadores y protección de los componentes:

El compresor de tornillo lubricado con aceite GA 180-10bar, 242 HP, 458 A, Conductor: 2 en paralelo de 150 mm, Protector: Disyuntor Termomagnético DWB600PE600-3DA, Tensión

nominal 380 V, Corriente nominal 500 A.

La esclusa rotativa PAV-6, 0,5 HP, 0,94 A, Conductor: 1,5 mm, Protector: Disyuntor Termomagnético UMBW-1C3-15, Tensión nominal 380 V, Corriente nominal 15 A.

Motorreductor esclusa rotativa, PAV-6, HP, 0,33, 1,4 A, Conductor: 1,5 mm, Protector: Guardamotor AZ CWC07-10-30D33 de Tensión de control 0,63 – 1.6 A, Tensión nominal 380 VAC, Corriente nominal 12 A Potencia nominal 4 HP.

Contactador de potencia CWB12- 11-04D02 de WEG Tensión de control 24 VCC, Tensión nominal 380 VAC, Corriente nominal 12 A, Potencia nominal 4 HP.

Variador de frecuencia: CF300B01 de WEG, Alimentador principal, 243 HP, 600,6 A, Conductor: 185 mm, Protector: Disyuntor Termomagnético Principal DWB600PE600-3DA Tensión nominal 380 V Corriente nominal 600A

El circuito de potencia se realizó en función a los accionamientos existentes como los motores, además de los contactores adecuados con relés térmicos, para que, al pasar la carga de potencia, los contactos puedan soportar la corriente.

En la parte de control se encuentran los siguientes componentes: Controlador Lógico Programable, PLC, HMI, sensores, relés.

Se realizó el esquema eléctrico del PLC tomando en cuenta la alimentación de 24 V, las entradas digitales y las salidas a los relés que se encargarán de la protección del controlador. El control electroneumático considerando cada aditivo del sistema de dosificación contiene cilindros, actuadores y válvula antirretorno para control de dosificación. El esquema eléctrico del sistema de pesaje contiene el transmisor de peso.

Para determinar el PLC a utilizar se realizó una descripción de las características que se necesitan para el control de todos los elementos del sistema electrónico.

Se seleccionó el PLC SIEMENS S7-1500, que es óptimo para esta aplicación, debido a que es un controlador compacto y que cumple los requerimientos de entradas y salidas necesarias para el sistema, añadiendo módulos externos, además considerando que este PLC está caracterizado para permitir realizar tareas sencillas pero muy precisas.

## CONCLUSIONES

Se determinó el método para el sistema de dosificación de la planta. La tecnología de dosificación gravimétrica es especialmente adecuada para los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos. Este método de dosificación utiliza sistemas de pesaje precisos para medir y controlar las cantidades de aditivos. La dosificación gravimétrica ofrece una mayor precisión y estabilidad en comparación con otros métodos, como la dosificación volumétrica.

Además, permite un monitoreo continuo y en tiempo real de la cantidad de aditivo utilizado, lo que facilita el ajuste y la optimización del proceso. Se realizó el diseño del sistema de dosificación de aditivos acuerdo con la necesidad de uso, considerando los elementos mecánicos normalizados disponibles en el mercado nacional.

Se diseñó el sistema de dosificación de aditivos optimizando la producción, siendo capaz de producir la cantidad de 165 baches al día mejorando los tiempos para el producto final de mezclado, trabajando a máxima potencia y sin tener pérdidas de material en el proceso.

## REFERENCIAS

- PAVCO. (2 de Junio de 2017). Fabricación Tubería PVC. Obtenido de Proyecto Hydros: [https://www.youtube.com/watch?v=jsXoTPL\\_ENs](https://www.youtube.com/watch?v=jsXoTPL_ENs)
- LEÓN, J., & SIMBAÑA, E. (2012). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN Y MONITOREO DEL SISTEMA DE PESAJE Y MEZCLA DE MATERIA PRIMA PARA LA FABRICACIÓN DE TUBERÍA PVC EN LA FABRICA TIGRE S.A. Quito: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
- REHAU. (2022). REHAU España. Obtenido de <https://www.rehau.com/es-es/que-es-el-pv>

CITA

