

TRANSPORTADOR NEUMÁTICO PARA EL MANEJO DE MATERIA PRIMA SÓLIDA A GRANEL EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Realizado por:
Ing. María Chacín / Correo:sbarrios147@gmail.com
Ing. María Morillo / Correo: asboscan67@gmail.com
Ing. Andrés Palazzi / Correo: rp94010@gmail.com

Tutor Académico:
MSc. Roberto Ruiz / Correo: anelaina.annina@gmail.com

Tutor Metodológico:
Dra. María Gómez / Correo: mapaz1@urbe.edu.ve

El diseño de productos industriales busca optimizar la función, el valor y la apariencia de los sistemas en beneficio de fabricantes y usuarios. En el área de ingeniería, este proceso se orienta a definir ajustes innovadores para integrar nuevos sistemas sujetos a restricciones dinámicas. Específicamente, un transportador neumático se define como una máquina de transporte continuo que utiliza una corriente de aire a una velocidad determinada para movilizar materiales secos, finos y a granel.

En la actualidad, Venezuela produce al menos el 97% de los alimentos que consume, lo que resalta la importancia de la industria alimentaria nacional. Sin embargo, la mayor parte de los equipos de transporte neumático no se fabrican en el país debido a factores como la obsolescencia tecnológica, la escasez de materiales y problemas macroeconómicos. El no desarrollar estos equipos localmente obliga a las empresas a recurrir a importaciones costosas, lo que genera retrasos operativos y riesgos de pérdida de producto o contaminación ante posibles averías. Por ello, surge la necesidad de crear un diseño nacional que proporcione eficiencia, seguridad e inocuidad en el transporte de materias primas sólidas a granel, considerando propiedades críticas como la densidad, humedad y granulometría del material

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se estructuró en ocho fases metodológicas que permitieron transformar las necesidades detectadas en un sistema funcional y validado técnicamente.

Fase I: Identificación de Necesidades

A través de entrevistas a expertos, se determinó que la prioridad absoluta es la inocuidad alimentaria, valorando los sistemas cerrados para evitar la contaminación ambiental. Se identificaron desafíos como la vulnerabilidad eléctrica y la escasez de repuestos.

Mediante un proceso de filtrado de ideas, se aplicó la Figura 1: Estructura de Torneo: Oportunidades, donde se seleccionó la implementación de un sistema de control y monitoreo automático como la mejora más viable tras evaluar eficiencia, seguridad y costos.

Mediante entrevistas a expertos, se determinó que la inocuidad es la prioridad absoluta en la industria alimentaria. Se identificaron oportunidades de mejora a través de una Estructura de Torneo (Figura 1), donde tras filtrar opciones por eficiencia operativa, seguridad alimentaria y costos, se seleccionó la implementación de un sistema de control y monitoreo automático como la mejora más viable.

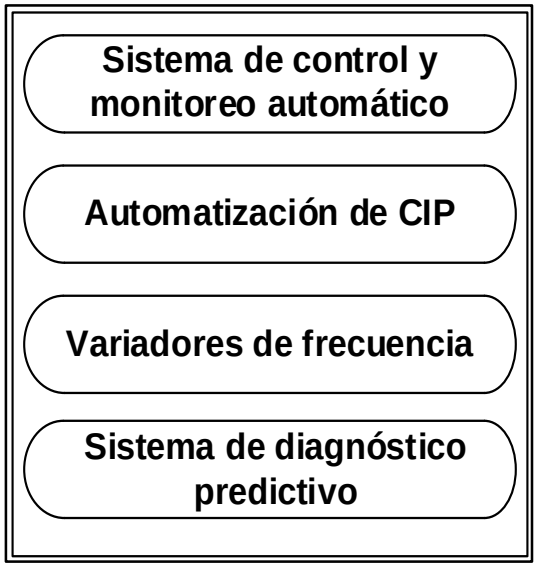


Figura 1. Estructura de Torneo: Oportunidades.
Fuente: Chacín, Morillo y Palazzi (2025)

Fase II: Análisis de Contenido

Se compararon las clases de sistemas neumáticos, concluyendo que el sistema de presión positiva (Clase I-B) es el más óptimo para la industria alimentaria por su capacidad para manejar diversos materiales a larga distancia garantizando higiene y control de contaminación. Se compararon las tres clases de sistemas neumáticos. El análisis demostró que el sistema de presión positiva (Clase I-B) es el más óptimo para la industria alimentaria por su capacidad de manejar diversos materiales a larga distancia garantizando la higiene y minimizando la contaminación cruzada.

Fase III y IV: Diseño, Operación y Modelación

Se definió la geometría física del sistema. Para visualizar la viabilidad del proyecto, se elaboró la Figura 2: Diagrama P&D del proceso, que establece una red de tuberías de 12 pulgadas y los puntos de instrumentación.

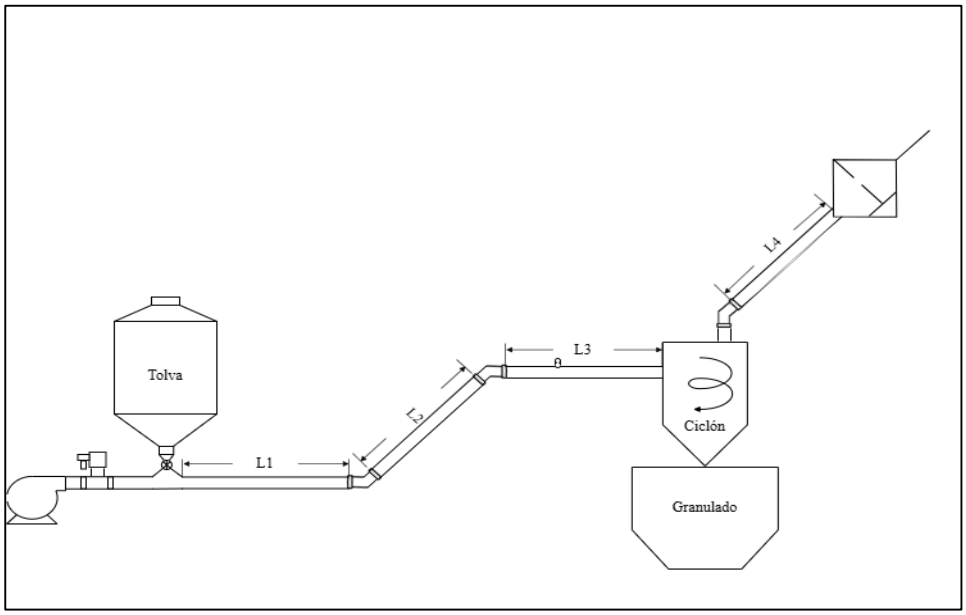


Figura 2. Diagrama P&D del proceso.
Fuente: Chacín, Morillo y Palazzi (2025)

Se estudiaron las propiedades de materiales como maíz, café y azúcar para ajustar los parámetros de diseño. Un recurso crítico para el cálculo del flujo másico fue la Figura 3: Curvas de velocidad y caudal unitario, que permite relacionar el peso específico del material con el caudal requerido.

Se definió la geometría física del sistema mediante un Diagrama de Tuberías e Instrumentación (P&ID) (Figura 3), estableciendo una red de tuberías de 12 pulgadas.

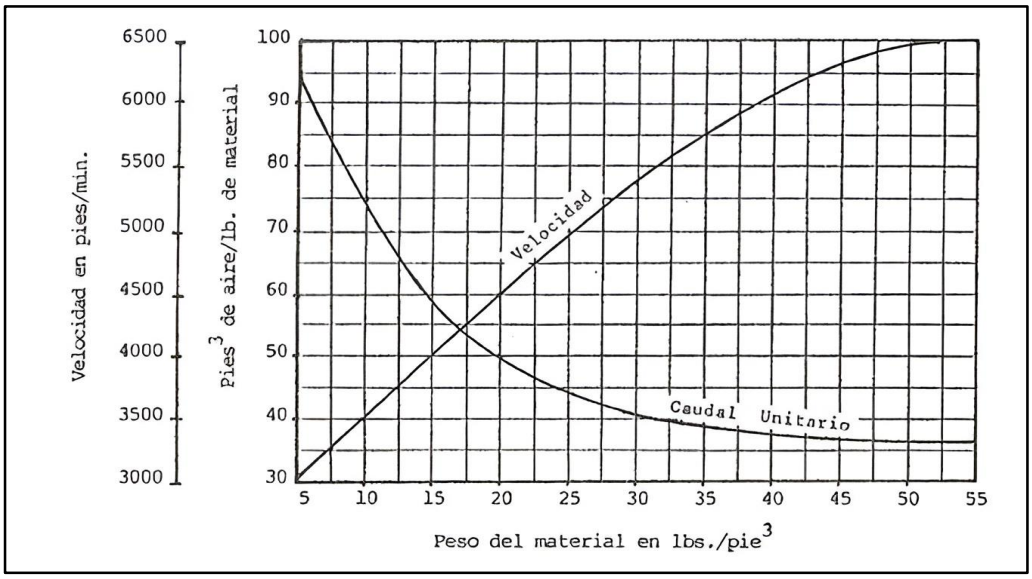


Figura 3. Curvas de velocidad y caudal unitario.
Fuente: Gómez y Rachadell (2004)

Para el modelado, se utilizaron Curvas de velocidad y caudal unitario (Figura 4) que permitieron calcular parámetros críticos según el peso específico del material. La lógica del proceso se sintetizó en un Modelo verbal del proceso (Figura 4) que describe desde la carga en la tolva hasta la separación en el ciclón.

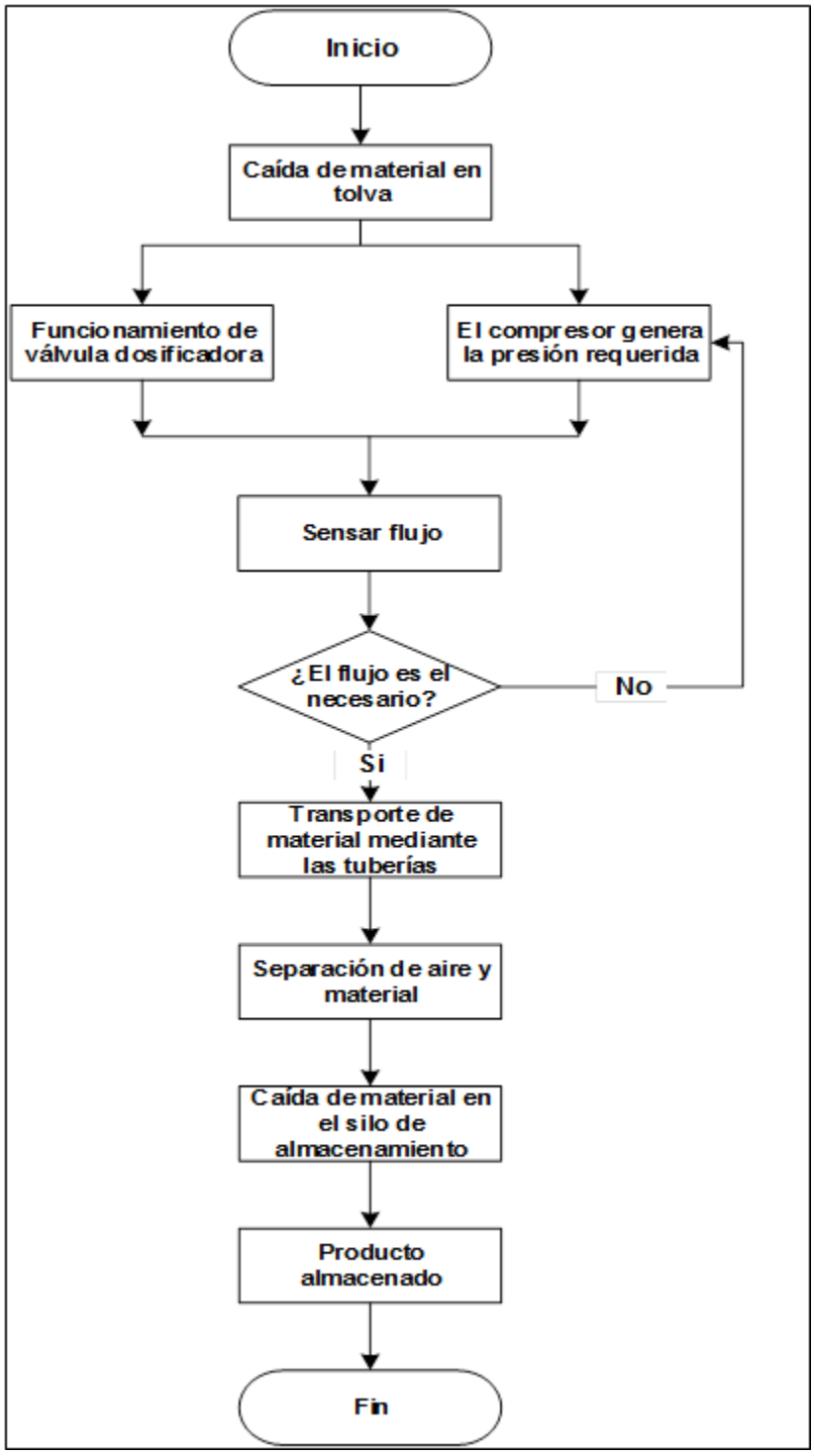


Figura 5. Modelo verbal del proceso.
Fuente: Chacín, Morillo y Palazzi (2025)

Se construyó un modelo matemático basado en ecuaciones de dinámica de fluidos y Bernoulli. La lógica fundamental del sistema se sintetizó en la Figura 5: Modelo verbal del proceso, que describe desde la carga en tolva hasta la separación centrífuga en el ciclón. Este modelo permite calcular la presión total del compresor necesaria para mover el material sin dañarlo.

Fase V: Especificaciones del Producto

Utilizando el despliegue de la función calidad (QFD), se alinearon los requerimientos del cliente con soluciones técnicas. Se determinó que el sistema automatizado y la presión de trabajo son las características de mayor peso mediante la Figura 6: Matriz de relación, asegurando que el diseño cumpla con los estándares industriales.

	Número de filas		1	2	3	4	5	6
Numero de columnas	Caracteristicas / Requerimientos	Nivel de proridad	Potencia del compresor	Diametro de la tuberia	Material de la tuberia	Ciclón y filtros	Sistema automatizado	Presión de trabajo
1	Capacidad del transporte	6	○	○	▲	▲	⊖	⊖
2	Velocidad de aire	4	○	○	▲	▲	⊖	○
3	Eficiencia	8	○	⊖	▲	⊖	○	○
4	Costo	9	○	○	○	⊖	○	⊖
5	Higiene	7	▲	▲	○	○	⊖	▲
6	Seguridad	10	⊖	▲	⊖	○	○	○

Figura 6. Matriz de relación.
Fuente: Chacín, Morillo y Palazzi (2025)

Se utilizó el despliegue de la función calidad (QFD) para alinear las necesidades del cliente con soluciones técnicas. La Matriz de relación (Figura 13) permitió identificar que el sistema automatizado y la presión de trabajo son las características de mayor peso para el diseño.

Fase VI y VII: Construcción y Evaluación de Prototipos

Se implementó una estrategia dual. Primero, se validó la geometría y el ensamblaje mediante la Figura 7: Prototipo digital desarrollado en SolidWorks. Posteriormente, se fabricó una representación tangible en láminas de aluminio a escala 1:50, evidenciada en la Figura 8: Prototipo físico, que integra sensores de presión, temperatura y nivel controlados por una placa Arduino.

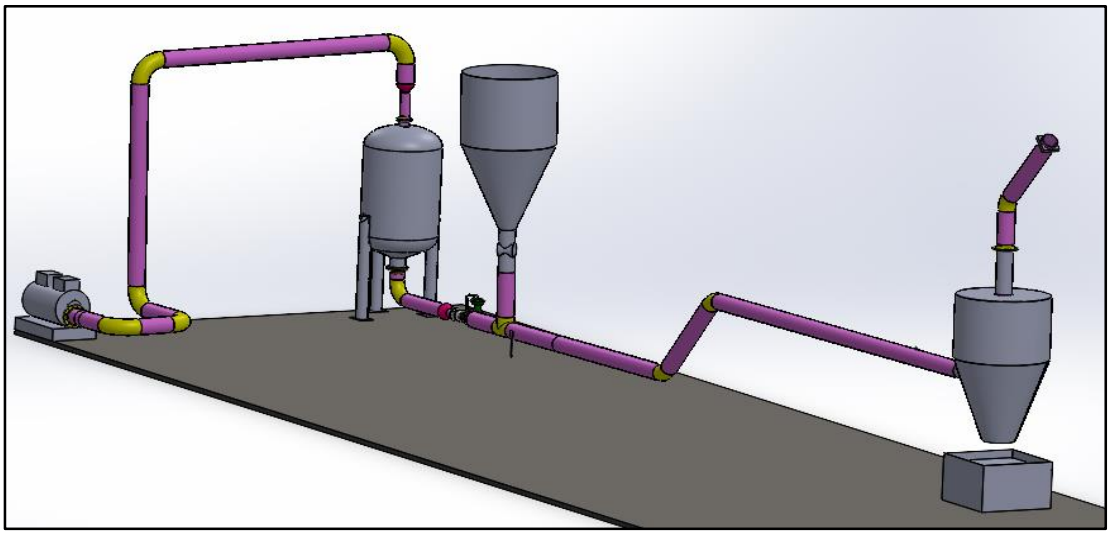


Figura 7. Prototipo digital
Fuente: Chacín, Morillo y Palazzi (2025)

Se desarrolló una estrategia dual: un Prototipo digital (Figura 17) en SolidWorks para validación geométrica y un Prototipo físico (Figura 8) a escala 1:50 para pruebas funcionales. El funcionamiento se verificó mediante el software MATLAB, estableciendo los puntos de consigna para el PLC y eliminando errores de prueba en campo.

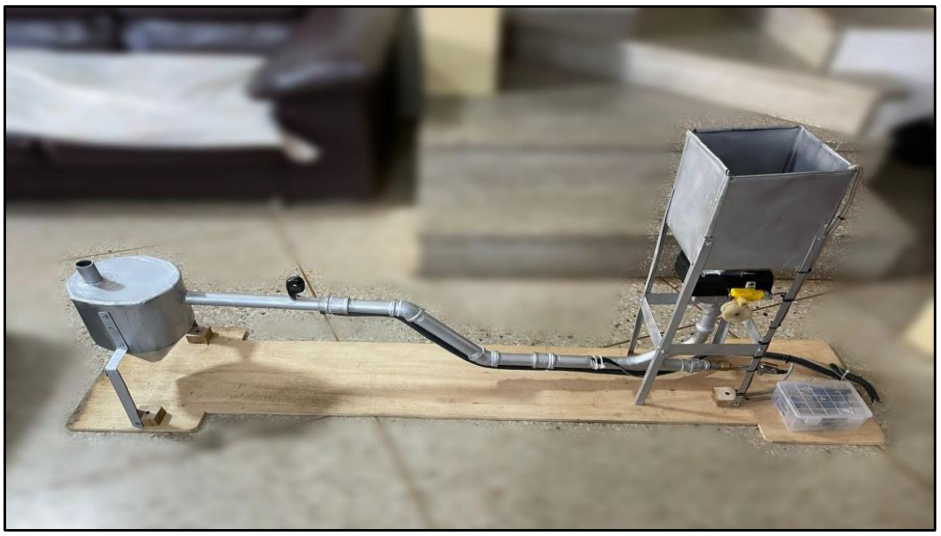


Figura 8. Prototipo físico.
Fuente: Chacín, Morillo y Palazzi (2025)

La validación funcional se realizó mediante software (MATLAB) y pruebas físicas, confirmando que la presión se estabiliza en menos de 30 segundos y la dosificación es precisa. Finalmente, aplicando el método de costeo ABC, se determinó que el costo total del transportador neumático a escala real es de 35.396$, incluyendo componentes de acero inoxidable, automatización y mano de obra especializada.

Fase VIII: Análisis de Costos

Aplicando el método de costeo ABC, se determinó que el costo total del transportador neumático a escala real es de 35.396$, integrando componentes principales, gastos indirectos e inductores de actividad.

CONCLUSIONES

La investigación confirmó la viabilidad técnica y operativa del transportador neumático propuesto. Se logró priorizar la inocuidad alimentaria mediante un sistema cerrado de presión positiva que minimiza la contaminación cruzada y las mermas de material. El modelo matemático desarrollado demostró ser robusto al adaptarse a diversos materiales (maíz, café, azúcar, etc.) mediante simulaciones de Montecarlo y MATLAB.

Finalmente, la construcción del prototipo físico a escala 1:50 y su automatización con Arduino/PLC validaron que el diseño es escalable y apto para las tendencias de la industria 4.0, ofreciendo una alternativa económicamente sostenible para modernizar el sector alimentario venezolano.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Arias, F. (2012). El proyecto de investigación e introducción a la metodología científica. 6ta edición. Caracas: Editorial Episteme.

Cabrejos, F., Jofre, M. y Rojas, J. (2004). Transporte Neumático de materiales sólidos a granel. Valparaíso, Chile: Universidad técnica Federico santa María.

Gómez, E. y Rachadell, F. (2003). Manejo de materiales. Venezuela: Universidad Nacional Abierta.

Mills, D. (2004). Pneumatic conveying design guide. 2da Edición. Reino Unido: Elsevier Butterworth-Heinemann.

Polimeni, R. S., Fabozzi, F. J., & Adelberg, A. H. (2005). Contabilidad de Costos: Conceptos y Aplicaciones para la Toma de Decisiones Gerenciales. 3ra edición. McGraw-Hill Interamericana.

Ruiz Bueno, A. (2021). El contenido y su análisis: Enfoque y proceso. Universidad de Barcelona.

Ulrich, K. and Eppinger, S. (2013). Product Design and Development. 5 edition. McGraw-Hill Higher Education