



*Diseño y construcción de una ensacadora semiautomática con una tolerancia mínima de Error  $\pm 50$ gr en el Rango de 25kg a 50kg*

*Design and construction of a semi-automatic bagging machine with a minimum error tolerance of  $\pm 50$ g in the range of 25kg to 50kg*

*Projeto e construção de uma ensacadeira semiautomática com tolerância mínima de erro de  $\pm 50$ g na faixa de 25kg a 50kg*

Javier Orna <sup>I</sup>

[javier.orna@epoch.edu.ec](mailto:javier.orna@epoch.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-0601-1686>

Diego Mayorga <sup>II</sup>

[dmayorga@epoch.edu.ec](mailto:dmayorga@epoch.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-1731-9723>

Edwin Viteri <sup>III</sup>

[eviteri@epoch.edu.ec](mailto:eviteri@epoch.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-3029-775X>

Ivan Armas <sup>IV</sup>

[ivan.armas9610@gmail.com](mailto:ivan.armas9610@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0001-8871-2779>

Gilson Haro <sup>V</sup>

[gilson.hv17@gmail.com](mailto:gilson.hv17@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0008-3883-0639>

**Correspondencia:** [javier.orna@epoch.edu.ec](mailto:javier.orna@epoch.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 10 de mayo de 2025 \* **Aceptado:** 20 de junio de 2025 \* **Publicado:** 24 de julio de 2025

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.
- IV. Investigador Independiente, Ecuador.
- V. Investigador Independiente, Ecuador.

## Resumen

El propósito de este artículo abarca el diseño y construcción de una ensacadora semiautomática la cual es capaz de dosificar con precisión en un rango mínimo de error  $\pm 50$  gramos producto de difícil flujo, como balanceados sin peletizar, polvos y productos húmedos, en sacos desde los 25kg hasta los 50kg. La automatización del proceso de ensacado es de suma importancia en la industria, ya que esta permite mejorar la producción, disminuir desperdicios o contaminación del producto y mejorar la calidad del empaque. Se efectuó un estudio detallado de los diferentes tipos de productos y cuál sería su comportamiento en el flujo, permitiendo seleccionar y desarrollar un sistema de dosificación adecuado para la ensacadora, teniendo en cuenta su costo de construcción y así mismo que no afectase a la precisión o producción al momento del dosificado. La máquina diseñada se encuentra compuesta por componentes electrónicos, mecánicos, y neumáticos para garantizar la eficacia y precisión al momento del pesaje. La máquina tiene incorporado un indicador digital P-EX2002 para el control del pesaje y un LOGO PLC de Siemens para realizar la automatización del proceso, trabajando en conjunto con las electroválvulas que controlan los cilindros neumáticos y el variador de frecuencia para el control del motorreductor. La validación de la máquina se llevó a cabo mediante pruebas de funcionamiento, evaluando la precisión al momento del pesaje y la velocidad de ensacado. Los resultados obtenidos demostraron que la ensacadora semiautomática cumple con los requerimientos planteados convirtiéndola en una máquina muy eficaz para la implementación industrial. Para finalizar se elaboró un análisis de costos, concluyendo que la ensacadora semiautomática es una opción viable y competitiva para pequeñas y medianas empresas del país.

**Palabras Claves:** Automatización industrial; diseño mecánico; dosificación; ensacadora semiautomática; PLC; productos de difícil flujo.

## Abstract

The purpose of this article covers the design and construction of a semi-automatic bagging machine capable of accurately dosing, within a minimum error range of  $\pm 50$  grams, difficult-to-flow products such as unpelletized feed, powders, and wet products, in sacks ranging from 25 kg to 50 kg. The automation of the bagging process is of utmost importance in the industry, as it allows for improved production, reduced waste or product contamination, and improved packaging quality. A detailed study of the different types of products and their flow behavior was carried out, allowing

the selection and development of an appropriate dosing system for the bagging machine, taking into account its construction cost and also ensuring that it does not affect precision or production at the time of dosing. The designed machine is composed of electronic, mechanical, and pneumatic components to guarantee efficiency and precision at the time of weighing. A máquina incorpora um indicador digital P-EX2002 para controle de pesagem e um CLP Siemens LOGO para automação de processos, trabalhando em conjunto com válvulas solenoides que controlam os cilindros pneumáticos e um conversor de frequência para o motorreductor. A máquina foi validada por meio de testes operacionais, avaliando a precisão da pesagem e a velocidade de ensacamento. Os resultados demonstraram que a ensacadeira semiautomática atende aos requisitos, tornando-a uma máquina altamente eficaz para implementação industrial. Por fim, foi realizada uma análise de custos, concluindo que a ensacadeira semiautomática é uma opção viável e competitiva para pequenas e médias empresas no país.

**Palavras-chave:** Automação industrial; projeto mecânico; dosagem; ensacadeira semiautomática; CLP; produtos de difícil escoamento.

## Resumo

O objetivo deste artigo abrange o projeto e a construção de uma ensacadeira semiautomática capaz de dosar com precisão, dentro de uma faixa de erro mínima de  $\pm 50$  gramas, produtos de difícil fluxo, como ração não peletizada, pós e produtos úmidos, em sacos que variam de 25 kg a 50 kg. A automação do processo de ensacamento é de extrema importância na indústria, pois permite melhor produção, redução de desperdício ou contaminação do produto e melhor qualidade da embalagem. Um estudo detalhado dos diferentes tipos de produtos e seu comportamento de fluxo foi realizado, permitindo a seleção e o desenvolvimento de um sistema de dosagem apropriado para a ensacadeira, levando em consideração seu custo de construção e também garantindo que não afete a precisão ou a produção no momento da dosagem. A máquina projetada é composta por componentes eletrônicos, mecânicos e pneumáticos para garantir eficiência e precisão no momento da pesagem. A máquina incorpora um indicador digital P-EX2002 para controle de pesagem e um CLP Siemens LOGO para automação de processos, trabalhando em conjunto com válvulas solenoides que controlam os cilindros pneumáticos e um conversor de frequência para o motorreductor. A máquina foi validada por meio de testes operacionais, avaliando a precisão da pesagem e a velocidade de ensacamento. Os resultados demonstraram que a ensacadeira

semiautomática atende aos requisitos, tornando-a uma máquina altamente eficaz para implementação industrial. Por fim, foi realizada uma análise de custos, concluindo que a ensacadeira semiautomática é uma opção viável e competitiva para pequenas e médias empresas no país.

**Palavras-chave:** Automação industrial; projeto mecânico; dosagem; ensacadeira semiautomática; CLP; produtos de difícil escoamento.

## Introducción

La automatización industrial ha supuesto mejoras en los procesos de producción en una amplia gama de sectores, proporcionando altos niveles de eficiencia, costes reducidos y calidad de producto garantizada. En este contexto, el sector industrial que se maneja con productos para ensacar ha seguido desarrollándose (Brandon & Diaz, 2020). El requisito principal es optimizar el envasado de productos difíciles de ensacar, como productos no granulados, polvos, entre otros. Muchas pequeñas y medianas empresas dan gran importancia a los elevados costes y a la gestión de las importaciones, así como a sus procedimientos operativos específicos para garantizar una alta fiabilidad y asegurar sistemas de cumplimiento de pedidos de acuerdo con sus necesidades.

De este modo este proyecto presenta el diseño y construcción de una máquina ensacadora semiautomática que garantiza una dosificación de calidad de productos en el rango de 25 a 50 kilogramos con un margen de tolerancia de  $\pm 50$  gramos. Además, un sistema de control y monitoreo adecuado y automatizado que facilita incorporar tecnologías como celdas de carga, pantalla digital y control lógico programable (PLC) (*Repositorio Digital - EPN: Simulación de Un Dosificador de Chocolate Automático*, n.d.).

Sin dicha investigación, se necesita una forma rentable y asequible de ensacar diversos productos, lo que conducirá a una disminución de la producción y la calidad durante el proceso de dosificación de productos. Basado en el análisis de materiales (*Características Del Acero al Carbono Grado Maquinaria / Aceromafe*, n.d.), diseño mecánico, pruebas experimentales y verificación técnica, este proyecto se utiliza para desarrollar tecnológicamente la industria del ensacado en el Ecuador y producir ventajas en las pequeñas y medianas empresas locales.

Más específicamente, este proyecto se centra en la implementación óptima de métodos de diseño que aseguren la confiabilidad y durabilidad de los equipos bajo el control de los estándares de calidad y seguridad industriales. El sistema se valida mediante pruebas de precisión y validez para

garantizar que la máquina pueda utilizarse con diferentes procedimientos operativos y configuraciones requeridas por el comprador. Es esta herramienta la que permite modernizar los procesos de ensacado en la industria ecuatoriana.

En Ecuador se impulsa los beneficios de automatizar diferentes procesos industriales para mejorar la productividad y capacidad de trabajo, lo cual requiere inversión en tecnología, capacitación y apoyo por parte del gobierno; de este modo desarrollar sistemas automatizados está en constante crecimiento, por lo que grandes, medianas y pequeñas empresas se ven en la necesidad de reducir costos de operación así también espacios físicos que ocupan procesos manuales para que su producción mejore y así obtener un producto final de calidad (Curimilma Huanca, 2012).

Hoy en día, para la industria nacional mejorar su competencia eligiendo sistemas automatizados, que en ciertas ocasiones se las ha realizado en el país importando la tecnología. Empresas grandes como ECUACERAMICA que requieren maquinarias de este tipo prefieren exportar de países como Italia, China, entre otros, en cierta parte son productos que se pueden elaborar en el país a menor precio, con buena calidad y la facilidad de asistencia técnica en caso de algún fallo o mantenimiento preventivo del equipo automatizado (Juan et al., n.d.).

Para una empresa de ensacado los beneficios de la automatización es la velocidad y optimización de recursos (*Transportadores de Tornillo Sin Fin: Dimont Ltda, Barranquilla, Diseño, Fabricación, Montajes, Automatización Suministros, Comercialización, Mantenimiento*, n.d.). Una ensacadora permite empacar diferentes productos ya sean pulverizados o de pequeña granulación, esta máquina es capaz de dosificar productos a diferentes velocidades de empaque según sea la necesidad.

En respuesta a la cuarta revolución industrial, en el Ecuador la falta de modernización industrial en la mayoría de los casos mantiene una operación con modelos desactualizados. En algunas empresas grandes ya constituidas cabe mencionar que tienen la integración de robótica moderna con pequeños pasos o encaminadas a la integración de inteligencia artificial, sin embargo, el país es proveedor de materias primas en la mayoría de los casos sin valor agregado por lo que al momento de importar terminan con precios elevados limitando así a capacidad competitiva (*Transportadores de Tornillo Sin Fin: Dimont Ltda, Barranquilla, Diseño, Fabricación, Montajes, Automatización Suministros, Comercialización, Mantenimiento*, n.d.). Para abordar este desafío sugerimos la incorporación de tecnología intermedia como lo es la máquina ensacadora semiautomática para

pequeñas y medianas empresas que optimicen el proceso sin exigir inversiones grandes lo que ayudaría a la relación entre costos y calidad.

La implementación integral de la automatización industrial en los países desarrollados ha contribuido al desarrollo productivo de las empresas (*Acero Inoxidable En La Industria Alimentaria / EPROM, SA*, n.d.). También proporciona principalmente a las compañías a nivel mundial herramientas para competir en un mercado globalizado que continuamente exige estándares de calidad más altos, entregas más rápidas al más bajo costo y en la cantidad que sea requerida. Con todas estas herramientas podemos obtener muchos beneficios, haciendo cambios continuos para mejorar, desde sistemas de producción más robustos, sistemas de entrega de materiales más apropiados, hasta cambios de distribución de la planta.

En el Ecuador se ha visto necesario dar un giro a la manera tradicional de operar de las empresas y optimizar los procesos productivos, además, eliminar los desperdicios que se generan en el mismo, utilizando la Automatización que contempla ahorrar tiempos y facilitar las dosificaciones de producto para empaquetarlos de manera óptima(*Celda de Carga Explicada: Qué Es y Cómo Funciona El Sensor*, n.d.).

Considerando los desafíos mencionados en el contexto industrial este proyecto se desarrollará para lograr mejores resultados en cuanto a productividad.

Si bien existen grandes empresas que la mayor parte tienen automatizado sus procesos para optimizar tiempos, hay otras empresas más pequeñas que no disponen de la automatización para liberar espacios y tener un óptimo desempeño de la producción, son muchas causas que deben investigarse para encontrar una solución para este tipo de empresas (*Diseño Preliminar De Una Celda De Carga Para Maquinado. | Flores | Mecánica Computacional*, n.d.). Con la apertura del TLC (Tratado de Libre Comercio) exige al Ecuador alcanzar estándares competitivos, indispensable para competir con empresas líderes tanto locales como globales y aprovechar el potencial de sus recursos ya sean estos por su calidad refiriéndonos a escenarios comerciales competitivos. Presentamos un proyecto que se realizará con la ambición de aumentar la productividad de una pequeña empresa con un sistema de ingeniería mecánica especializado que garantiza la elección del mejor diseño y la funcionalidad de la automatización en el proceso de pesaje de productos de difícil flujo(*EET-60 ENSACADORA ELECTRÓNICA – Grupo Victor*, n.d.). La creación de un sistema multifuncional, con el fin de adaptarse a diversos productos, contribuye



para la optimización de los parámetros de ajuste que demande el desempeño comercial, sin provocar complicaciones en nuevos productos que requiera el sector industrial.

Para que este proyecto tenga competitividad comercial es indispensable integrar tres principios fundamentales: capacidad operativa, ahorro energético y buen funcionamiento del servicio. Para tal efecto, es necesario implementar protocolos de calidad, que integren un proceso de licitación competitivo que permita dosificar y mostrar mayor productividad dentro de la pequeña o mediana empresa (*Explora Los Tipos y Usos de Sistemas de Pesaje Industrial*, n.d.).

La decisión de implementar un sistema semiautomatizado para productos de difícil flujo con pesos comprendidos entre 25 y 50 kilogramos requiere que el proceso de ensacado se realice para capacidades que pasen de echo los 50 kilogramos para asegurar que cumplirá con el rango de peso y propiedades del producto que requiera la pequeña empresa (*Célula de Carga de Tracción (Compresión) SL / LAUMAS*, n.d.). La máquina ensacadora semiautomática responde a las necesidades de producción que requieren tasas de cambio constantes, garantizando que la velocidad de operación no aumente por sí sola, sino que se mantenga precisa en el resultado final de cada saco. Por tanto, sus características multipropósito permiten la adaptación de diversos productos requeridos como químicos, polvos cohesivos hasta granulados irregulares, trascendiendo limitaciones asociadas a la textura o densidad de los productos (*Transportador de Tornillo Sin Fin / EXTRACCIÓN Y REFINACIÓN DE AZÚCAR*, n.d.). El propósito metodológico radica en el equilibrio entre el operador que cumple la función de retirar los sacos dosificados y manejo de configuraciones en la pantalla de control de acuerdo con sus necesidades con la automatización en la etapa de ensacado del producto. Esta acción conjunta entre hombre – máquina mejora tiempos para una mayor producción en la pequeña o mediana empresa (*Variadores De Frecuencia (VFD): Control Y Eficiencia En Motores Industriales - Ingeniería Rached*, n.d.).

El sector del ensacado y empaque industrial opera en un contexto de constante dinámica de innovación, donde las soluciones técnicas deben adaptarse a las características intrínsecas de cada producto (*Futek México - Marca Exclusiva Logicbus*, n.d.). En el caso del sector de alimentos balanceados, impulsado por la expansión acelerada de los centros urbanos y la correspondiente demanda de proteínas, la optimización de procesos es de importancia estratégica. Este nicho requiere no sólo la optimización de los costos operativos, sino también la reducción de los tiempos de ensacado, la estandarización del almacenamiento y la armonización de los parámetros de producción, factores que impactan directamente en la rentabilidad y la capacidad de competir en

mercados saturados. La introducción de tecnologías semiautomatizadas es, por tanto, una respuesta útil a esta dualidad de mantener la calidad en un entorno altamente volátil y garantizar el crecimiento sin comprometer los márgenes económicos (*Cómo Funciona Una Ensacadora - Maquinaria Tadel*, n.d.).

## **Metodología**

Es de carácter técnico por lo que se llevara a cabo una investigación de desarrollo apoyándonos en parte de la investigación experimental mediante el método cuantitativo ya que se va analizar variables para asegurar el buen rendimiento de la máquina, y el método cualitativo para observar la operabilidad de la máquina de modo que se tomó en cuenta todas las condiciones de seguridad como son los esfuerzos que va a realizar la máquina en los componentes móviles o fijos así como los respectivos análisis de rigidez en donde lo requiera todo esto bajo las condiciones propuestas. Para esto partimos del diseño conceptual donde se desarrollan bocetos y esquemas para imaginarnos como va a quedar la máquina, esto lo plasmamos en un diseño CAD para lo cual utilizaremos el software SolidWorks en el cual incluye el diseño desde la parte de dosificación hasta la boquilla de salida donde saldrá el producto hacia el saco, para asegurar que este proceso funcione de manera correcta se selecciona el material adecuado evaluando las condiciones a las que va a trabajar la maquina así como la selección de componentes (sensores de peso, válvulas de control) para el ensacado correcto de la máquina. Una vez definido estos parámetros se procede a construir de acuerdo con las dimensiones y tolerancias propuestas siguiendo normas y especificaciones que se necesitan para este proceso. Se realizan también pruebas de cómo está funcionando la máquina para verificar que cumpla con los objetivos propuestos o si existe alguna falla en la precisión del ensacado tomar medidas para solucionar estas posibles fallas. También cabe recalcar que se describió todo el diseño realizando pruebas de funcionamiento esto de acuerdo con los parámetros requeridos por las empresas específicamente de la ciudad de Ambato, que trabajen con productos de difícil flujo o químicos.

## **Metodología de diseño**

El diseño de la Ensacadora Semiautomática para productos de difícil flujo se elaboró mediante el diagrama de bloques que se puede observar en la figura 1, así como también usando la metodología QFD.



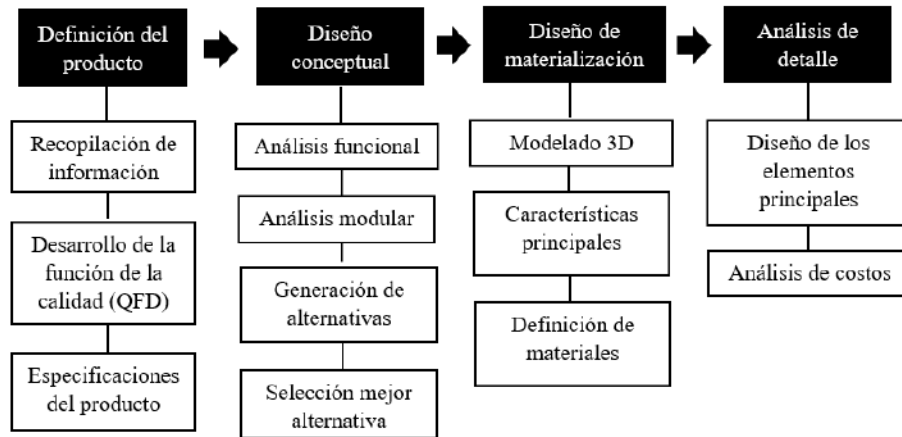


Figura 1. Metodología de diseño de la ensacadora semiautomática

Siguiendo esta metodología de diseño ayudara a identificar el grupo objetivo que requiere de la maquina ensacadora, así como también mejorar el producto, esto se lograra alineando las características técnicas con las necesidades y expectativas del cliente mediante el seguimiento de los estándares de calidad para el ensacado de productos de difícil flujo en el rango de 25 a 50 kilogramos.

### Análisis QFD

El análisis QFD ayuda al diseño y construcción de la máquina ensacadora ya que se recopila datos sobre las necesidades de los clientes para transformarlos en requisitos técnicos, desafíos de la maquina ensacadora y qué expectativas tiene el mercado, todos estos puntos sirven para realizar pruebas y simulaciones que validen los conceptos de diseño propuestos, así también se relacionan en una matriz QFD dando ponderaciones a los requisitos técnicos en función del impacto que producirá en la satisfacción del cliente buscando identificar posibles mejoras y ajustes, con esto se garantiza la integración de las necesidades del cliente en el proceso de diseño que derivara en un producto final que cumpla con las expectativas del mercado y las necesidades del cliente.

### Voz del usuario

La voz del usuario es de gran importancia para la metodología QFD, esto debido a que se refiere a la recopilación y análisis de las necesidades, deseos y expectativas que tienen los clientes o usuarios finales, todo esto con el fin de agregar estos aspectos en el diseño y desarrollo de la ensacadora semiautomática. Esto mediante el uso de las diferentes técnicas de investigación de mercado, como

pueden ser: encuestas, entrevistas a grupos que tengan afinidad con el tema, gracias a esto se determinaron las necesidades y perspectivas de posibles clientes.

### **Voz del ingeniero**

La voz del ingeniero para este proyecto es fundamental ya que asegura que el diseño y la construcción de la ensacadora semiautomática cumpla con los requisitos técnicos y de rendimiento establecidos, a su vez con los requerimientos establecidos por el usuario, de modo que a continuación se detalla los requerimientos para el diseño de la máquina ensacadora semiautomática.

### **Correlaciones**

Poder conocer y comprender estas relaciones es de gran importancia para lograr mejorar el diseño totalmente, evitar problemas y garantizar un funcionamiento eficiente y preciso de la máquina ensacadora. Estas relaciones se ponderan en cuatro niveles: fuerte, moderada, débil y relación inexistente.

### **Análisis de competitividad**

El analizar la competitividad es una herramienta fundamental para comprender las condiciones actuales del mercado y las necesidades de los clientes. Se realizó un estudio comparativo donde sean similares al proyecto propuesto en cuanto a características técnicas y funcionales de las principales ensacadoras semiautomáticas disponibles en el mercado. Se evalúa mediante el cumplimiento de niveles del 1 al 5.

En cuanto a la ponderación dada a cada una de las características analizadas se obtienen aplicando el índice de mejora, importancia y factor de venta. El factor de venta tiene ponderaciones los cuales son fuerte con un valor de 1.5, posible con un valor de 1.2 y ninguno con un valor de 1. El resultado calculado de estos factores nos da a conocer que hay que mejorar en específica característica de los requerimientos del cliente y técnicos.

### **Evaluación técnica**

El objetivo de la evaluación técnica es el enfoque en la incidencia de las especificaciones técnicas, así para la máquina ensacadora semiautomática se obtiene con la ecuación:

$$Imp = \sum I_d \cdot S_{dt}$$

donde,

Imp: Importancia del criterio evaluado

Id: Incidencia de la característica técnica

Sdt: Valor de ponderación

La figura 2 señala la base de la casa de la calidad. Aquí se presentan las principales características técnicas: precisión de dosificación, facilidad de manejo de la máquina, precisión del sistema de pesaje, materiales compatibles con los alimentos, protección contra sobrecargas, capacidad para manejar rangos de peso e interfaz digital y capacidad de producción. Estos aspectos son el foco del diseño y desarrollo de la máquina ensacadora semiautomática.

De manera similar, ponderamos cada competencia y utilizamos la ecuación de importancia del criterio evaluado para calcular el valor de ocurrencia de cada característica técnica en comparación con los principales competidores.

Este estudio técnico sirve como guía básica para el diseño y construcción de la máquina ensacadora semiautomática, definiendo los parámetros y especificaciones que deben cumplirse para obtener un producto diferenciado y de altas prestaciones.

### **Compromisos técnicos**

El análisis QFD de los compromisos técnicos determina la correlación con las especificaciones técnicas y garantiza que aquellas características técnicas que se hayan identificado en la etapa de planificación se incorporen de manera eficaz y logren cumplir con aquellos objetivos implantados de calidad y complacencia al cliente, para la evaluación de esta incidencia se usaron cuatro niveles con relaciones que van aumentando de manera proporcional. Es decir, cuando mejora una característica técnica, también mejoran las demás características técnicas, y viceversa.

Este estudio sobre los compromisos técnicos es de vital importancia para definir una solución de diseño que permita optimizar el rendimiento de la máquina ensacadora semiautomática y encontrar el equilibrio adecuado entre las diversas características técnicas importantes. En la figura 4 se aprecia el despliegue de la función de calidad QFD.

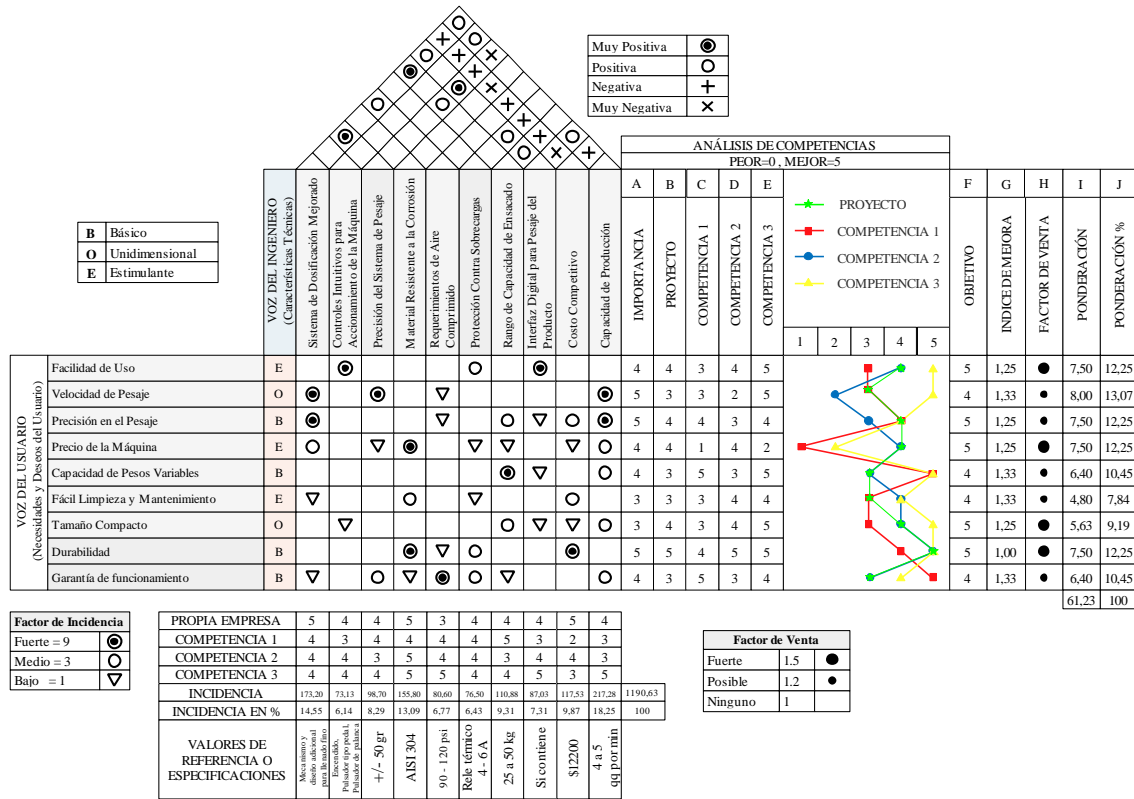


Figura 2. Despliegue de la función de calidad QFD

### Análisis funcional

Para la realización del presente análisis funcional se considerará diferentes niveles, los cuales reflejarán los procesos presentes para el ensacado de productos de difícil flujo.



Figura 3. Análisis funcional

El ensacado de productos de difícil flujo empieza su proceso en varias etapas como es primeramente el almacenamiento del producto el uso de la energía eléctrica y aire comprimido, así como la carga de trabajo asumida por parte del operario de la máquina. Por lo cual una vez puesta en marcha la máquina se obtiene el saco lleno con el peso requerido o configurado.

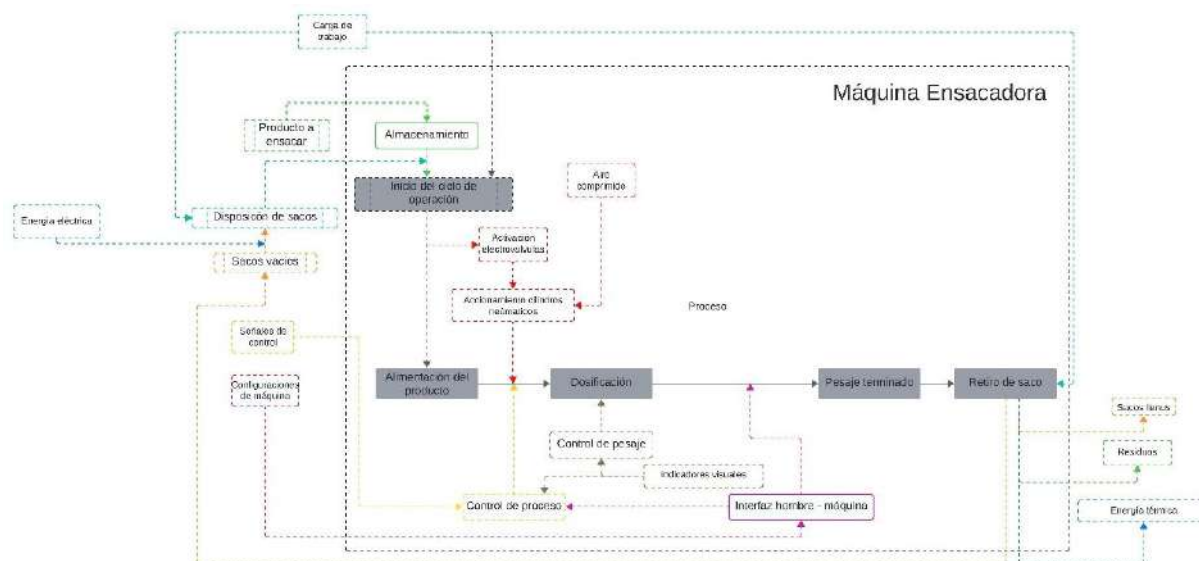


Figura 4. Estructura de Funciones

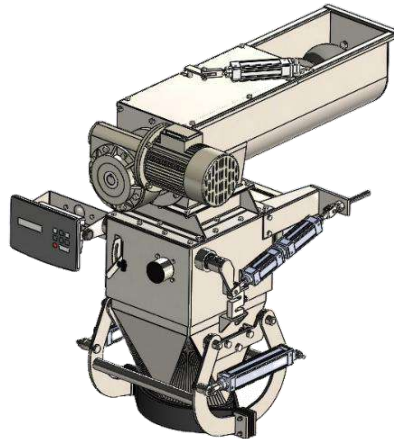
### Diseño Conceptual

La presente fase implica el diseño de cada uno de los componentes que conforman la máquina ensacadora semiautomática, de igual manera muestra todos los cálculos necesarios para su correcto diseño y construcción. Es de suma importancia también que una vez realizado el diseño se proceda a verificar mediante un software MEF (Método de Elementos Finitos) con la finalidad de analizar y seleccionar los componentes más adecuados para la ensacadora, ya que de igual manera es muy importante tomar en cuenta ciertos parámetros de diseño brindados por el software para la construcción e implementación. Las acciones descritas anteriormente ayudan a garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad del producto, garantizando que todos los elementos sean los adecuados para la aplicación seleccionada.

### Modelado 3D

Realizar el modelado 3D de la mejor alternativa seleccionada de la máquina ensacadora semiautomática, nos ayuda para identificar todo el conjunto de sistemas y componentes que va a

tener la ensacadora semiautomática. Con la ayuda del software SolidWorks creamos los respectivos modelos 3D de cada subsistema, los cuales están diseñados en función de los requerimientos y compromisos técnicos analizados preliminarmente. Para finalizar, todos los subsistemas se ensamblan para dar forma a la máquina, lo que permite luego realizar simulaciones, análisis de movimiento y obtener las propiedades físicas de cada pieza para cálculos que se requieran y validar el diseño final antes de su construcción.



*Figura 4. Modelado 3D de Ensacadora Semiautomática*

### **Características principales**

La máquina ensacadora semiautomática tendrá las siguientes características.

Peso máximo: 50 kg,

Capacidad de llenado de sacos por minuto: 3.5 a 5 qq/min,

Precio máximo: \$12000,

Dimensiones Generales (cm): 114.9x120x78,

Precisión: +/-50 gramos,

Operabilidad: Pantalla que muestra el pesaje y pedal para poder ajustar los sacos,

Movimiento uniforme de las tenazas: Para flujo constante durante el ensacado.

Desmontaje fácil para mantenimiento: Facilita el acceso a componentes internos de la maquina sin requerir herramientas complejas.

### **Diseño transportador tornillo sinfín**

Para realizar el diseño del transportador de tornillo sin fin se utilizará la Norma ANSI-CEMA 350, la cual establece los estándares y guías acerca del diseño, construcción, instalación y



mantenimiento para los transportadores de tornillo sin fin. Esta norma también proporciona ciertas especificaciones detalladas acerca de las dimensiones, tolerancias, materiales y ciertos procedimientos para asegurar principalmente la eficiencia y seguridad de estos equipos en las diferentes aplicaciones industriales, garantizando la compatibilidad y un rendimiento óptimo de los transportadores helicoidales los cuales son muy utilizados en las diversas industrias que manejan productos al granel.

Además, para complementar con más información y tener un diseño óptimo se utilizará también el catálogo de Martin el cual es compendio de productos y soluciones industriales ofrecidos por Martin Sprocket & Gear (Gómez, n.d.), la cual también es una empresa muy conocida por su amplia gama de equipos para el manejo de materiales, como transportadores de tornillo sin fin, poleas engranajes, acoples, entre otros productos más. El presente catalogo incluye especificaciones técnicas, dimensiones, características para el diseño y aplicaciones recomendadas para cada producto ayudando a facilitar la selección y un manejo adecuado de estos productos en diferentes industrias.

Para realizar el diseño primeramente definimos un material con el que se va a trabajar esto debido a que la ensacadora semiautomática trabajara con productos de difícil flujo, para lo cual se seleccionara un producto que tenga características similares con los descritos en el tema del presente proyecto el producto seleccionado será “Alimentos para Animales”, esto debido a que uno de sus componentes principales es el maíz molido, cereales como la soya los cuales contienen un gran porcentaje de partículas de polvo, al igual que estos productos pueden estar realizados con aceite de palma o melaza, los cuales hacen que estos aumenten su grado de humedad por lo cual su fluidez se verá disminuida.

*Tabla 1. Selección del Producto*

<b>Alimentos para aves o ganado bovino</b>	
<b>Descripción de Componentes</b>	Maíz molido, soya, minerales, aceite de palma o melaza, entre otros.
<b>Densidad Aparente Suelta</b>	50lb/ft <sup>3</sup> o 801 kg/m <sup>3</sup>

	<b>Características del material incluido</b>	<b>Designación</b>
<b>Densidad</b>	Densidad Aparente, Suelta	50lb/ft <sup>3</sup> o 801kg/m <sup>3</sup>
<b>Tamaño</b>	Fino - Tamiz No. 6(0,132" o 3,35mm) y menos	B <sub>6</sub>
<b>Fluidez</b>	Función de flujo libre >4 pero <10	2
<b>Abrasividad</b>	Abrasividad Media - Índice 1-17	5
<b>Propiedades o Peligros Diversos</b>	Polvoriento	L
	Pegajosidad-Adhesión	O
	Medianamente Corrosivo	T
	Higroscópico	U
	Aceites presentes	W

Mediante el respectivo análisis realizado en la tabla V en la cual se encuentra la elección de características acerca del producto seleccionado dando como resultado el siguiente código: 50B625LOTUW, de igual manera el factor de material fm se selecciona un aproximado al material “maíz, partido” tomando en consideración que en un ejemplo de la norma nos dice que mientras mayor sea la cantidad de humedad el factor será mayor fenómeno ocurrido en los cereales y otras sustancias las cuales podrían ser polvos, debido a esto y como el producto seleccionado se encuentra también compuesto por cereales y polvos se toma a consideración esta recomendación, entonces el maíz partido tiene un fm de 0.7 por lo cual para el presente caso se seleccionara un fm del 0.9 por el grado de humedad que aumenta al momento de colocar aceite de palma o melaza en la mezcla del balanceado.

Mediante la generación del código obtenido con el producto elegido anteriormente se procede a la selección de las capacidades para el transportador de tornillo sin fin, cabe recalcar que para el diseño del sin fin se necesita uno con un diámetro de 8 pulgadas el cual no se encuentra disponible en la norma por lo cual se realizara una interpolación en ciertos valores donde se pueda hacerlo y lograr resultados lo más eficientes posibles con el diámetro requerido.

Tabla 2. Selección del Producto

Clase de Material	Grado de carga del Canal	Diámetro del Tornillo	Máxima RPM	Capacidad, ft <sup>3</sup> /h	
				En Max. RPM	A una RPM
B-25	45%	6	165	368	2,23
		8	158	999,4	6,41
		9	155	1270	8,2

### Selección de componentes mecánicos

Para el diseño del cabezal superior como se observa en la figura 5, es un elemento mecánico que tiene como función principal dar paso al producto por niveles, de modo que el diseño del cabezal superior de la ensacadora es importante para controlar y ajustar el flujo de acuerdo con las necesidades que requiera la producción del producto desde la tolva de alimentación hasta la boquilla de llenado.

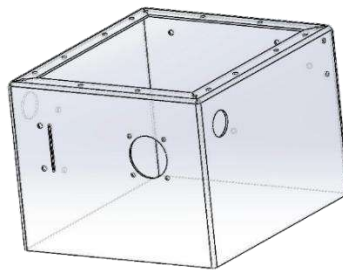


Figura 5. Cuerpo principal del cabezal superior

Para la selección de los tornillos para fijar la brida cuadrada al cabezal superior se requiere de varios pasos detallados en el libro de BUDYNAS donde los pernos cumplan con todos los requisitos de carga. Estos tornillos están fabricados en acero inoxidable AISI 304 y cumplen con las normas SAE J429H.

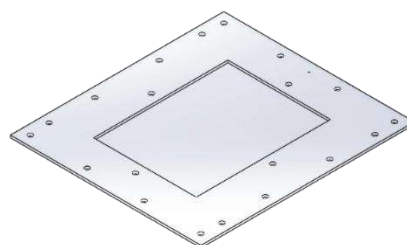


Figura 6. Brida para soporte de cabezal superior

Los pernos 5/16 - 18 UNC van a resistir deformaciones de carga axial sin problema alguno, ya que la máquina requiere alta precisión en el pesaje del producto, donde van a unir dos elementos que tienen el mismo material, pero diferente espesor (*Shigley's Mechanical Engineering Design | Enhanced Reader*, n.d.). La carga por soportar es de 210 lb esto es sumado de componentes como es el tornillo sin fin con su canal transportador, el motorreductor, y por la parte abajo es decir por donde pasa el proceso de ensacado esta la tolva, los cilindros hidráulicos, las tenazas y demás componentes.

Para la selección de los rodamientos se analizó que necesidades se tiene como son las condiciones de velocidad y ambiente de operación, puesto que se necesita para un eje de 25 mm por lo que será útil un rodamiento rígido de bolas, en cuanto a posibles vibraciones también por parte del motorreductor para que funcione el transportador de tornillo sin fin. En la tabla VIII se observa los parámetros del rodamiento SKF 6005 – 2RSH (*(PDF) Diagnóstico de Fallas En Los Rodamientos de Motores Eléctricos Empleando Variables Eléctricas*, n.d.).

Tabla 3. Resumen técnico de los rodamientos SKF 6005 – 2RSH

Parámetro	Rodamiento A	Rodamiento B	Verificar	Cumple
Carga axial (N)	500	500	$< 25\% \text{ de } C_o$	SI
Carga radial (N)	24.43	24.43	$< C$	SI
Vida útil (horas)	3852030,37	3852030,37	$\geq 17,520$	SI
Factor So	24,75	24,75	$\geq 1$	SI

Para seleccionar los retenedores se analiza el ambiente en el que la máquina ensacadora va a trabajar, en el caso de nosotros va a estar expuesta a polvo, humedad y si es el caso también a químicos. Como se seleccionó rodamiento SKF 6005 – 2RSH, lo que deseamos es que estos duren para alargar lo máximo posible su vida útil por lo que los retenedores vienen a complementar esta función de los sellos integrados en los rodamientos. Se selecciono el retenedor SKF 25x47x7 HMSA10 V, debido a que estos funcionan para componentes giratorios, así como también fijos de máquinas industriales, además están diseñados de caucho con un labio de sello convencional de elastómero para ambientes polvorientos o exposición a químicos y sobre todo aseguran la retención de lubricantes para mantener los componentes, mecánicos internos de la maquina ensacadora. Las especificaciones técnicas que nos facilita el catálogo SKF (*Rodamientos*, 2019).

Tabla 4. Resumen técnico de retenedor SKF 25x47x7 HMSA10 V

Parámetro	Rango
Velocidad límite (r.p.m.)	13320
Temperatura máxima de operación (°C)	200
Temperatura mínima de operación (°C)	25

Es necesario que el cilindro seleccionado tenga la suficiente presión para poder retener el saco con el producto dentro de este, para ello los criterios establecidos deben contemplar un ensacado lleno y establecer dos cilindros, puesto que existen dos tenazas que van a sujetar el producto hasta su liberación mediante pedal.

$$F_{neta} = m * g$$

$$F_{neta} = 50 \text{ kg} * 9.81 \frac{m^2}{s}$$

$$F_{neta} = 490.5 \text{ N}$$

El cilindro adecuado es un cilindro estándar de doble efecto con un diámetro de émbolo de 40 mm y vástago de 16 mm y una carrera regulable normalizados de 50, 80, 100, 125 mm y otros; con el nombre comercial DNC-40-100-S de la marca Festo. Cabe mencionar que se necesita un cilindro para cada tenaza de sujeción.

El sistema de medición de carga consta de dos celdas analógicas una en cada lado de la máquina ensacadora, este componente utiliza un sensor para transformar la resistencia mecánica en una señal eléctrica, teniendo un arreglo denominado Wheatstone que no es más que una configuración de puente en el circuito con galgas extensiométricas que producen el cambio en la resistencia. La selección de la celda de carga se basa casi en su totalidad en la capacidad y resolución deseada, así como de la construcción del circuito y su sistema de automático, por tanto, se ha seleccionado una celda NS1-100 kg de acero aleado con una dimensión de 76x50.8x23 mm y rosca M12X1.75. La sensibilidad de 2.0 ó 3.0 mV/V.

### Automatización

#### Control del sistema de dosificación

Las conexiones de la ensacadora semiautomática constan de un diagrama de control el cual está compuesto por lógica cableada y un LOGO PLC Siemens para la aplicación de lógica programada, también consta de un diagrama de fuerza para el funcionamiento de sus respectivos actuadores. El

diagrama de control es el encargado de hacer funcionar el sistema de dosificación de la ensacadora, puesto que es aquí donde se darán las distintas señales para dar inicio con el mismo (Krause et al., 1995). A continuación, se detallan los componentes empleados en el diagrama de control:

*Tabla 5. Componentes del diagrama de control eléctrico*

<b>Componente</b>	<b>Símbolo</b>
Disyuntor de Protección	Q1
Pulsador de Arranque NA	SG
Pulsador de Paro NC	SR
Pulsador de Pedal NA	PEDAL
Interruptor de Emergencia tipo hongo con contactos NA y NC	PE
Contactador (bobina de control + contactos principales)	KM1
Electroválvulas Neumáticas 5/2 Monoestable (bobina de control)	E3, E4
Bornera para Riel Din	BORN1, BORN2
Selector de dos Posiciones NA	SELEC
Luz indicadora de encendido del Motor	HG
Luz indicadora de Encendido de PLC y P-EX2002	HY
Luz indicadora de Emergencia	HR
Líneas de Alimentación	L1, N

Para tener todas las protecciones adecuadas se ha realizado el siguiente diagrama de control eléctrico industrial, el cual nos permite proteger los equipos frente a diversos problemas que puedan darse y alterar el correcto funcionamiento de estos, de igual manera crear un entorno de trabajo seguro y amigable para el operario (Lenin et al., 2009). Para abordar toda esta situación, se muestra el siguiente diagrama de conexión con una solución apropiada.



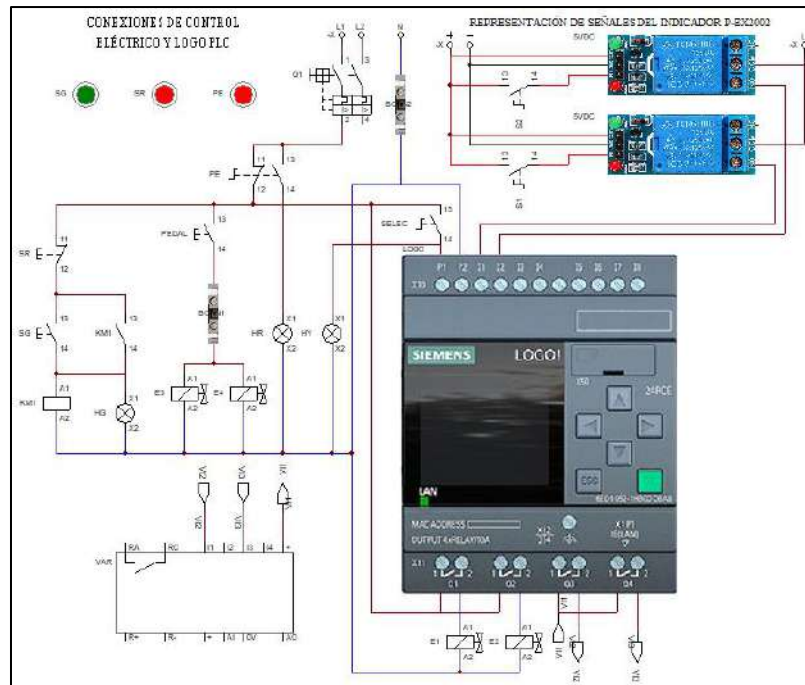


Figura 7. Diagrama de las conexiones para el control eléctrico de la máquina

Para una mejor comprensión acerca de los actuadores que son utilizados en el funcionamiento de la ensacadora semiautomática se realizó un diagrama de fuerza donde de igual manera se colocaron las protecciones necesarias para el cuidado de estos.

Tabla 6. Componentes del diagrama de fuerza (actuadores) para la ensacadora

Componente	Símbolo
Disyuntor de Protección	Q1
Contactor	KM1
Variador de Velocidad CA	VAR
Motorreductor Trifásico	MR
Electroválvulas Neumáticas 5/2 Monoestable	E1, E2, E3, E4
Cilindros neumáticos de doble efecto para sujeción del costal con reguladores de velocidad	SC1, SC2
Cilindros neumáticos de doble efecto para compuerta de flujo con reguladores de velocidad	EV1, EV2, RFSF
Líneas de Alimentación	L1, L2
Línea de tierra	PE

Las conexiones de los actuadores utilizados en la máquina fueron conectados como se muestra a continuación en el siguiente diagrama, como se puede observar en la figura 8 este sistema está constituido por un motor trifásico el cual será accionado mediante un variador de velocidad, también consta de 4 electroválvulas neumáticas conectadas con su respectivo cilindro neumático para su uso establecido, de igual manera cada uno de estos cilindros posee su respectiva válvula de control de velocidad ayudando a tener un mejor control del proceso.

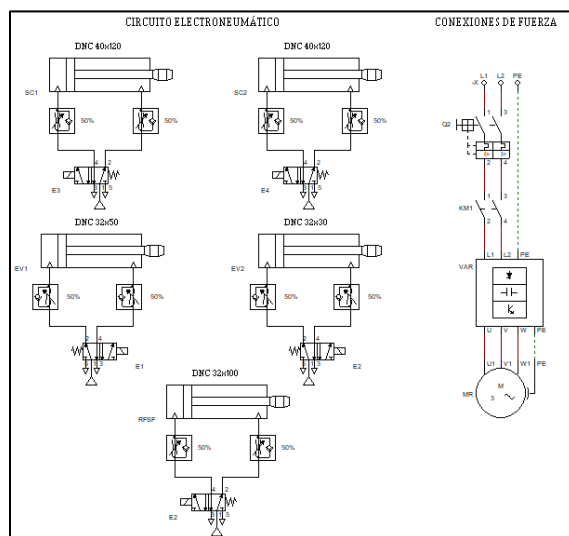


Figura 8. Diagrama de las conexiones de fuerza de la máquina

## Funcionamiento

Al inicio únicamente hay energía en los terminales de entrada del disyuntor Q1 por lo cual se realiza su activación, posterior se gira el selector de dos posiciones para el encendido del indicador digital P-EX2002 y del LOGO PLC Siemens los cuales serán los encargados del control automático de la ensacadora, también se enciende una luz piloto “HY” indicando que estos se encuentran encendidos.

Nota: Al no poseer un indicador P-EX2002 para la simulación, se realizó únicamente la representación de las señales que serán brindadas por este al momento de su funcionamiento.

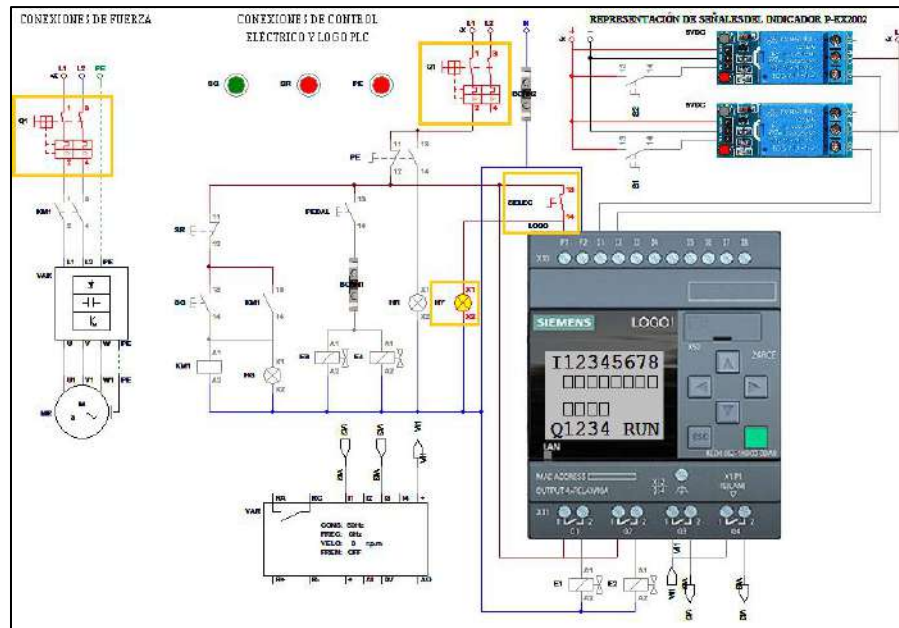


Figura 9. Diagrama de control y fuerza accionamiento de disyuntores

Al momento de presionar el botón verde “SG” en el diagrama de control, se activa la bobina del contactor dando como resultado el cierre de los contactos previamente abiertos. Estas acciones descritas habilitan el flujo de corriente hacia el Variador de Frecuencia para ello también se enciende una luz piloto verde “HG” indicando que el variador se encuentra encendido. Posterior a esto se realiza el accionamiento del botón “PEDAL” el cual es el encargado de realizar la activación de las bobinas E3 y E4 de las electroválvulas neumáticas. En el diagrama de fuerza (figura 8) se puede observar que se encuentra activo el variador de velocidad a la espera de que el sistema de control de la orden para la activación del motor. En el circuito electroneumático se encuentran activadas las electroválvulas E3 y E4 dando como resultado el accionamiento de los cilindros neumáticos SC1 y SC2 los cuales son los encargados de abrir y cerrar las mordazas que sujetan el costal, una vez colocado el costal se dejara de presionar el pulsador “PEDAL” para que las mordazas cierren y sujeten el costal.

Cuando se tenga colocado el costal en la máquina se da inicio a la dosificación del producto, para ello se simulo las señales SP1 y SP2 con interruptores al no tener disponible el indicador P-EX2002 en las librerías del programa, de igual manera estas señales van conectadas a un módulo de relé de 2 canales el cual es el encargado de llevar estas señales a las entradas I1 y I2 del LOGO PLC de siemens, dando inicio a la dosificación con la activación de las electroválvulas E1 y E2 de igual

manera por medio del variador de velocidad se realiza la activación del motorreductor accionando el helicoidal con la velocidad para el flujo alto, la cual puede estar comprendida entre 40Hz o 60Hz, esto debido a que la velocidad puede tener variaciones dependiendo el tipo de producto a ensacar. Con la activación en el sistema de control del variador de frecuencia se puede observar que efectivamente en el diagrama de fuerza el motorreductor se encuentra operativo, de igual manera las electroválvulas E1 y E2 se encuentran activas para que los cilindros neumáticos EV1, EV2 cambien su posición a la del llenado grueso abriendo toda la compuerta de flujo automática de la ensacadora, de igual manera el cilindro RFSF el cual es una compuerta reguladora de flujo a la salida del sinfín cambiara su posición permitiendo un flujo libre del producto, este cilindro trabaja con la misma electroválvula de EV1 pero con diferente conexión en las entradas de aire del cilindro. Por consiguiente cuando el indicador P-EX2002 detecte que llego al porcentaje del peso establecido para el llenado de flujo alto desactivara la señal S1, dejando únicamente activada la señal S2 lo que significa que únicamente quedara activa la bobina de la electroválvula E2 para dar inicio al dosificado Fino el cual cuenta con una frecuencia que puede estar comprendida de los 2.5 a 10 Hz, de igual manera esto podría variar dependiendo el tipo de material, velocidad de ensacado y precisión requerida en el pesaje.

En el diagrama de fuerza se puede verificar que el motorreductor sigue encendido pero este estará con una frecuencia menor puesto a que se está realizando el dosificado fino, de igual manera se observa que la electroválvula E1 se encuentra desactivada por consiguiente sus cilindros neumáticos también han regresado a su posición inicial, entonces el cilindro RFSF al haber regresado a su posición inicial también se encuentra obstruyendo el paso en la salida del sin fin y por el momento la única electroválvula activa es la E2 con su cilindro neumático EV2 dejando de igual manera un cierto porcentaje de la compuerta abierta hasta llegar al peso establecido.

Para finalizar con el dosificado una vez el indicador P-EX2002 detecta que ya llego al peso objetivo desactiva la señal S2, por ende, se desactiva la bobina de la electroválvula E2 y de igual manera envía la señal al variador de frecuencia para que detenga el funcionamiento del motorreductor finalizando con el ciclo de pesaje. Para la extracción del saco se presiona el pulsador pedal nuevamente para la apertura de las tenazas extrayendo así el saco con su peso obtenido.

### ***Diagramas para conexión electrónica***

Se explica cómo se deben realizar adecuadamente las conexiones eléctricas para lograr que el sistema funcione correctamente. Se debe tener en cuenta que al usar la tarjeta OP-05 se debe

desconectar el jumper JP1 para deshabilitar los 15VDC en la terminal VEX, ya que podría verse afectado el correcto funcionamiento de ciertas conexiones.

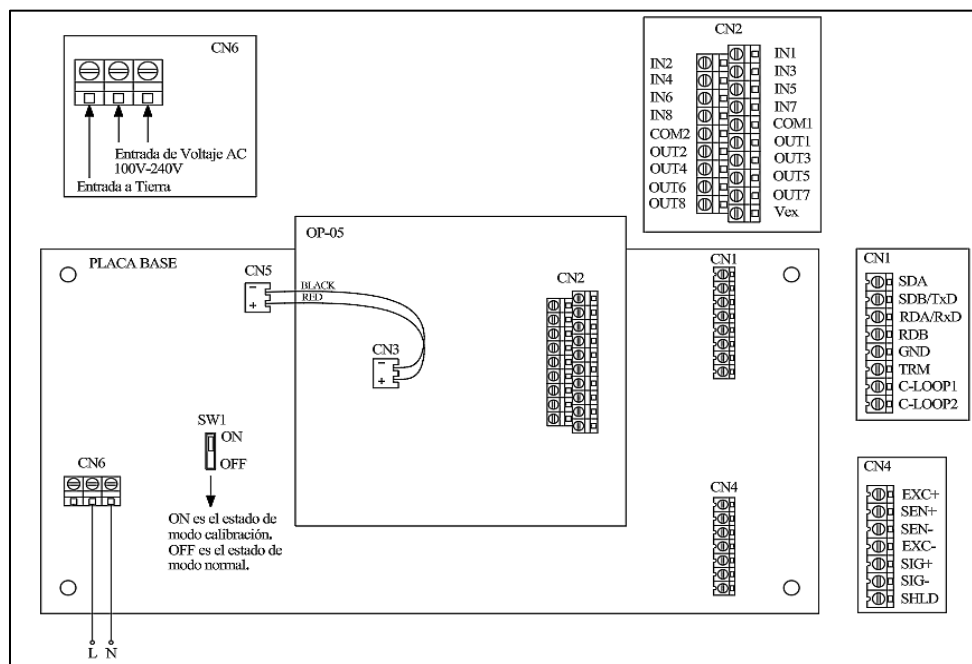


Figura 10. Placas PCB del indicador P-EX2002

Se puede observar las conexiones a realizarse en la placa base del indicador digital, para ello únicamente se utilizan las borneras CN6 que es donde se conecta la alimentación eléctrica y las borneras CN4 las cuales son de gran importancia puesto que es donde van realizadas las conexiones de las celdas de pesaje.

Las conexiones realizadas en la tarjeta electrónica OP-05 están constituidas en las borneras CN2, las cuales se encuentran realizadas en las entradas IN1, IN2 y CM1, estas son las encargadas de tener una conexión externa para el envío de señales mediante pulsadores físicos. Las borneras OUT1 y OUT2, son aquellas que enviarán las señales de salida de acuerdo con la programación de pesaje elaborada en el indicador digital.

#### Logo PLC de Siemens V8.4

Para la realización de la programación se utilizó el software LOGO!Soft Comfort el cual posee una interfaz intuitiva, simulaciones y depuración del código siendo esto de gran ayuda ya que se realiza primeramente una validación del programa antes de cargarlo en el PLC. La elaboración del

programa para la ensacadora se lo realizo en dos lenguajes de programación siendo cualquiera de estos una opción viable para su funcionamiento.

Para la elaboración del programa mediante este lenguaje de programación primeramente localizamos las variables de entrada que se encuentran conectadas en I1 y I2, las cuales son las señales provenientes del indicador digital P-EX2002, así mismo se colocan las condiciones que deben cumplir al momento de accionar las salidas Q1, Q2, Q3 y Q4 ya que estas deben cumplir con un orden específico para el correcto funcionamiento de la ensacadora.

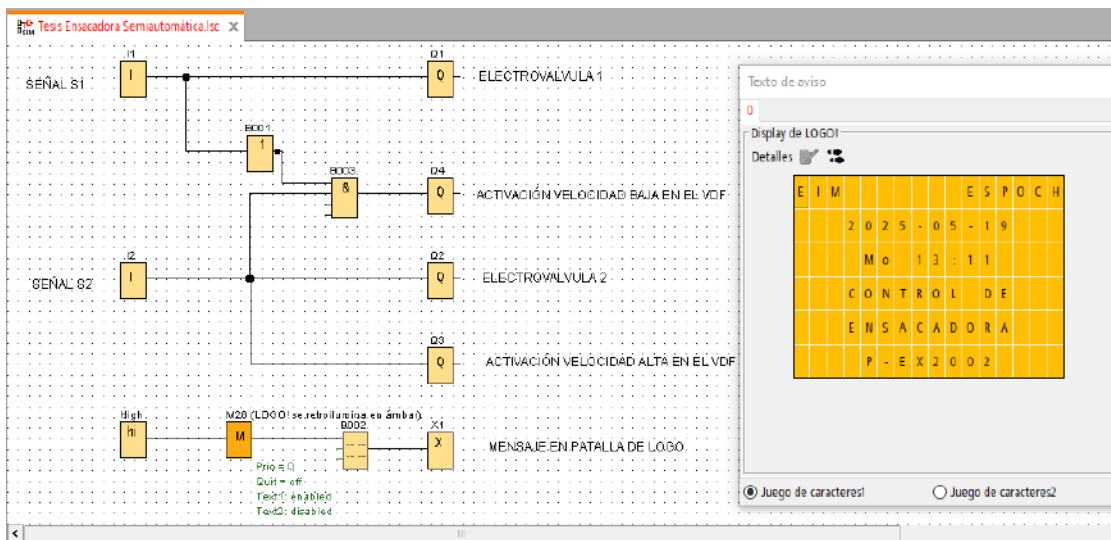


Figura 11. Programación realizada con bloques funcionales

A diferencia del anterior lenguaje se basa más en la representación de circuitos eléctricos de relés mediante el uso de contactos y bobinas, por ello de igual manera se identificaron cuáles son las entradas y salidas, para posterior ir dando las condiciones mediante el orden de encendido y apagado de las salidas Q1, Q2, Q3 y Q4, pero con la aplicación del lenguaje de programación Ladder. De igual manera se procede a colocar un mensaje para cuando se encienda la máquina.



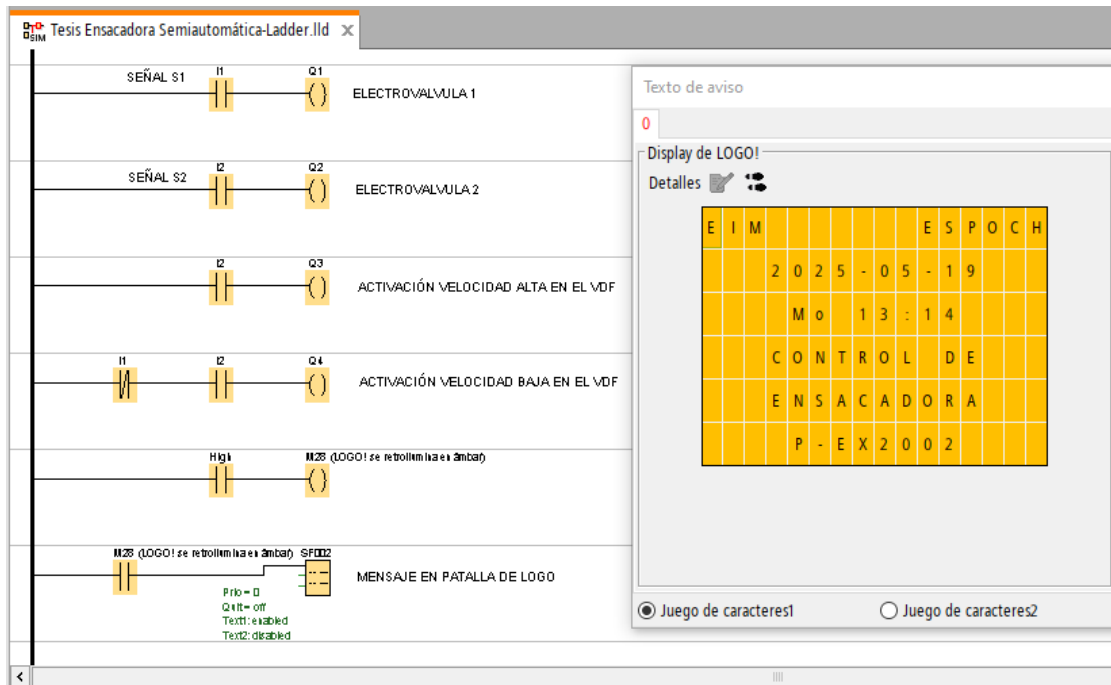


Figura 12. Programación realizada en diagrama de escalera o Ladder

## Resultados

### Validación CAE diseño manivela

Consideremos que la manivela puede tener dos escenarios, un escenario cuando los actuadores estén completamente contraídos o expandidos.

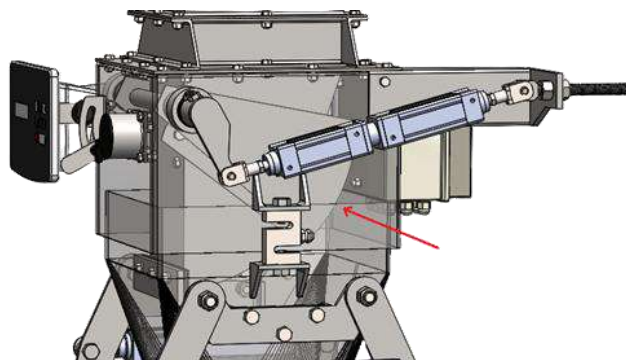


Figura 13. Cilindros neumáticos contraídos (primer escenario)

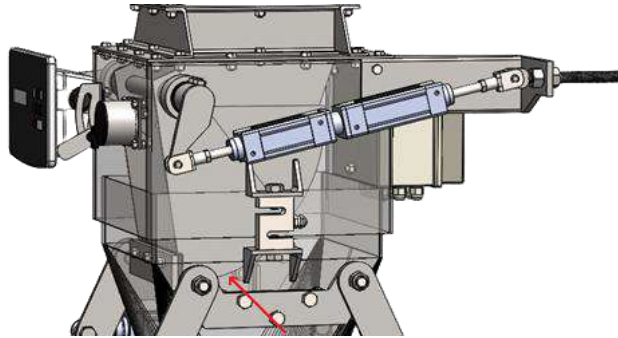


Figura 14. Cilindros neumáticos expandidos (segundo escenario)

Nótese que en el primer escenario (actuador contraído) la compuerta se encuentra abierta, mientras que en el segundo escenario (actuador expandido) la compuerta se encuentra cerrada. Dicho esto, el segundo escenario sería el crítico porque a más del peso propio tiene que soportar la carga, es importante recalcar que al realizar el actuador una acción de halar-empujar se tiene un comportamiento totalmente invertido. La fuerza ejercida sobre la manivela es:

$$P = \frac{F}{A}$$

$$90 \text{ psi} = 0.6205 \text{ MPa} = \frac{F}{\frac{\pi}{4} ((32\text{mm})^2 - (12\text{mm})^2)}$$

$$F = 428.86 \text{ N}$$

Al generar una malla por defecto resulta en un mallado con una pésima calidad de malla (promedio mínimo según el criterio del Element Quality del 75%)

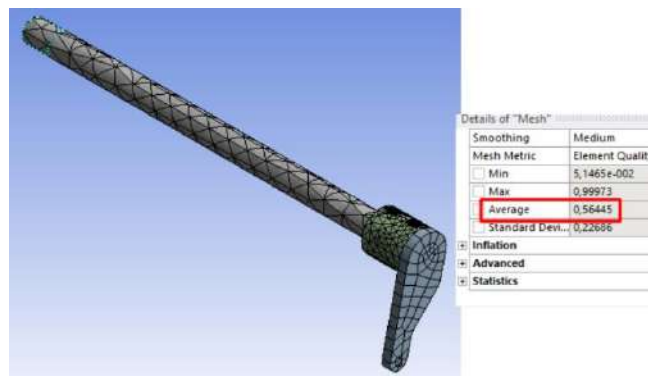


Figura 15. Mallado por defecto de la manivela

Por lo que se propone agregar al eje un mallado tipo “Body Fitted Cartesian” para obtener cubos simétricos en toda su axisimetría mientras que para el brazo un mallado tipo “Hex Dominant” que descompondrán el cuerpo en hexaedros. Todo esto generará cuerpos al azar de manera automática, para solucionar esto y obtener una suavidad en la malla se aplica un “Face sizing” que uniformiza el tamaño de todos los elementos donde tras varias iteraciones resulta en el tamaño más adecuado de 4mm que evita singularidades en el mallado, así como una calidad del 85.1%.

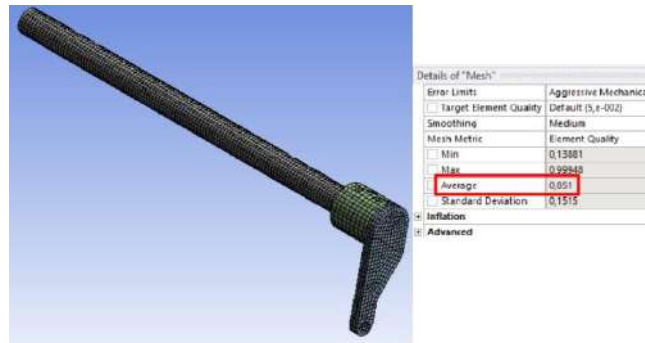


Figura 16. Mallado de calidad de la manivela

En la figura 17 se denota la fuerza que va a simular la carga de operación real que va a estar generando el cilindro neumático en sentido horario lo que se traduce en un momento torsional en la manivela.

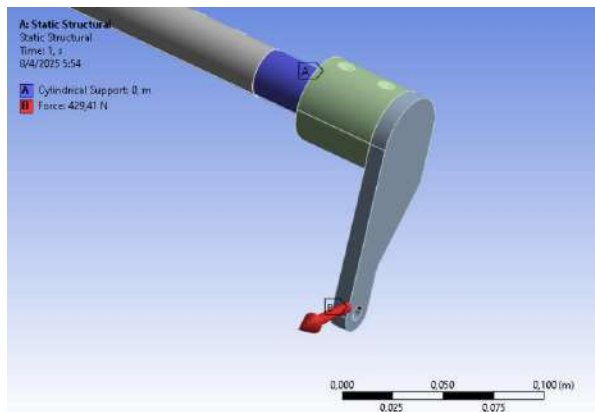


Figura 17. Parámetros de cargas

Se denota la fuerza que va a simular la carga de operación real que va a estar generando el cilindro neumático en sentido horario lo que se traduce en un momento torsional en la manivela.

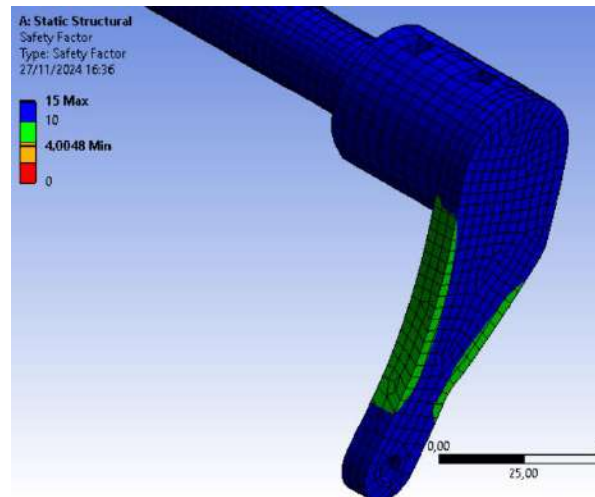


Figura 18. Factor de seguridad a fatiga

En la figura 18 se observa que el F.S. máximo aplicado es 15 veces menor que el límite de fatiga del acero AISI 304 lo que se traduce en un sobredimensionamiento que podríamos reducir espesor de la manivela, pero como somos muy conservadores lo dejamos como esta. El F.S. mínimo es 4 veces menos que el límite de fatiga por lo que se tiene vida infinita y se comprueba que la manivela va a trabajar de manera segura.

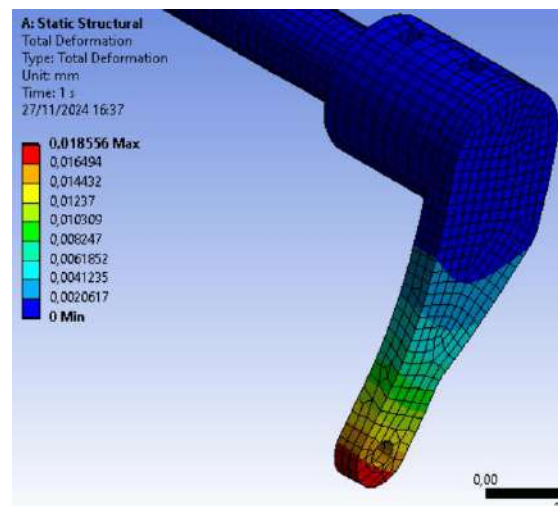


Figura 19. Deformación de la manivela

En la figura 19 se obtiene una deformación de 0.018 mm, esto muestra que la manivela frente a la carga aplicada va a tener una deformación pequeña y no va a doblarse con el trabajo repetitivo del cilindro neumático.

En cuanto al análisis de convergencia nótese que el punto crítico se encuentra en esta curvatura siendo ahí el punto de análisis de la convergencia.

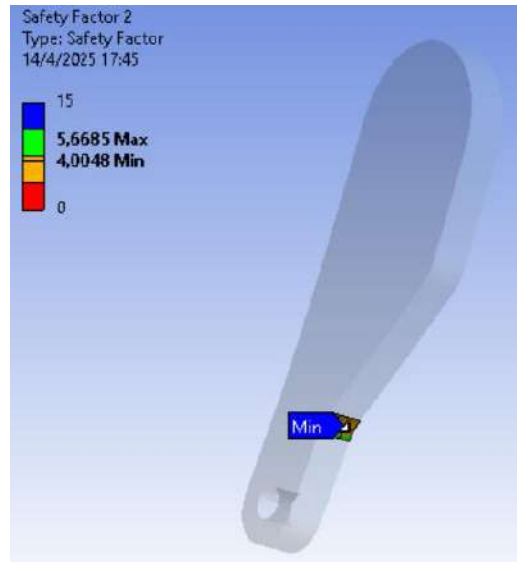


Figura 20. Punto crítico de la manivela

Tabla 7. Análisis de convergencia de la manivela

Iteración	Nodos Malla	Calidad Malla	Factor de seguridad	Deformación
1	31618	85.1	4.005	0.0186
2	47555	87.91	3.9114	0.0186
3	207397	93.85	3.85	0.0187
4	1557468	96.68	3.8418	0.0187

Evidentemente, el factor de seguridad converge sobre los 3.8 mientras que la deformación converge en 0.0187 mm.

### Validación CAE diseño tenazas

Definiendo al escenario crítico por obvias razones como el punto donde las tenazas ejercen presión en las mordazas con el saco, se tiene un esquema simplificado.



Figura 21. Escenario crítico de las tenazas

Nótese que el dato conocido sería la presión que ejerce el cilindro, por lo que partiendo de ahí se debe realizar la simulación en dos partes para conocer la deformación en las mordazas. Al generar una malla por defecto resulta en un mallado con una pésima calidad de malla (promedio mínimo según el criterio del Element Quality del 75%).

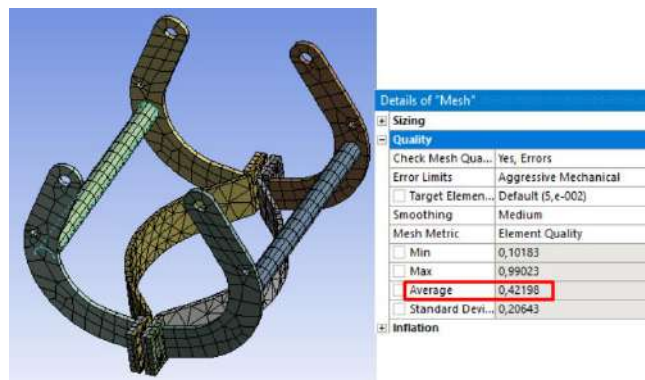


Figura 22. Mallado por defecto de las tenazas

Resulta complicado aplicar un método a cada elemento sin la posibilidad de empeorar el mallado por lo que se deja a libertad del software la elección del método automático más conveniente. Sin embargo, para suavizar y uniformizar la malla se aplica un “Body sizing” de 5mm que tras varias iteraciones resulta en el tamaño más adecuado que evita singularidades en el mallado, así como una calidad del 83.63%.





Figura 23. Mallado de calidad de las tenazas

En base a esta malla generada inicialmente se obtienen los siguientes resultados. Fuerza generada en las mordazas debida a la presión del cilindro:

$$P = \frac{F}{A}$$

$$90 \text{ psi} = 0.6205 \text{ MPa} = \frac{F}{\frac{\pi}{4} ((40\text{mm})^2 - (16\text{mm})^2)}$$

$$F = 654.98 \text{ N}$$

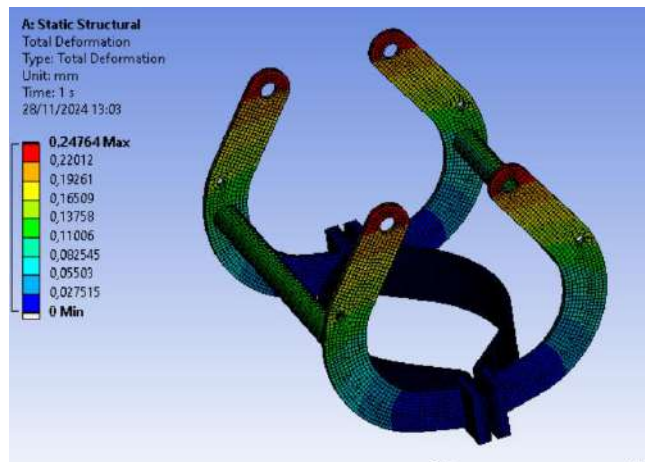


Figura 24. Resultados de deformación de las tenazas

Este análisis únicamente sirve para determinar las presiones ejercidas en las mordazas, de inmediato se procede a la segunda parte para determinar finalmente las deformaciones en las

mordazas. En base a los datos obtenidos en la primera parte de este análisis, se tiene, yendo en cada uno de los resultados en sentido horario respecto al mostrado:

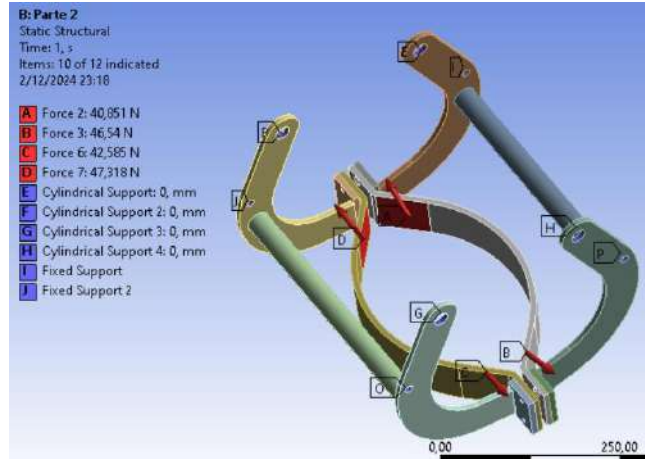


Figura 25. Parámetros de carga

- $FR_{1z} = -651.92 \text{ N}$
- $FR_{2x} = -39.101 \text{ N}, FR_{2y} = 11.439 \text{ N}, FR_{2z} = -3.01 \text{ N}$
- $FR_3 = 0$
- $FR_{4x} = 44.82 \text{ N}, FR_{4y} = 12.055 \text{ N}, FR_{4z} = -3.433 \text{ N}$
- $FR_{5z} = -651.6 \text{ N}$
- $FR_{6z} = 651.97 \text{ N}$
- $FR_{7x} = 40.695 \text{ N}, FR_{7y} = 12.19 \text{ N}, FR_{7z} = 2.964 \text{ N}$
- $FR_8 = 0$
- $FR_{9x} = -45.806 \text{ N}, FR_{9y} = 11.402 \text{ N}, FR_{9z} = 3.289 \text{ N}$
- $FR_{10z} = 651.74 \text{ N}$

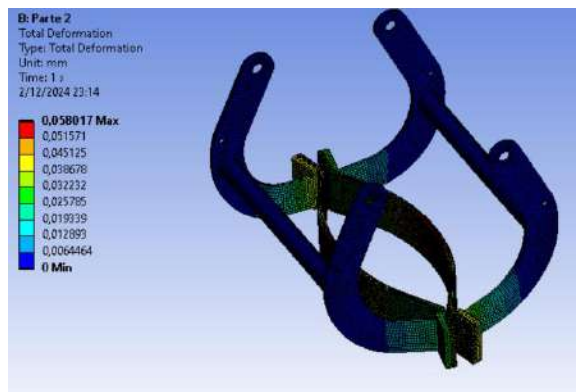


Figura 26. Deformación en las mordazas

Nótese que la deformación máxima es leve, de 0.058 mm. Ahora, en cuanto al factor de seguridad, el diseño en su esplendor esta sobredimensionado, sin embargo, se hace un ligero análisis de convergencia para validarlo.

Tabla 8. Análisis de convergencia de las tenazas

Iteración	Nodos Malla	Calidad Malla	Deformación
1	153510	83.63	0.0580
2	265450	82.68	0.0580
3	579662	84.24	0.0581
4	1803738	84.73	0.0581

Evidentemente, se confirma la veracidad del sobre diseño mientras que la deformación converge en 0.0581 mm.

### Validación CAE diseño tolva

En el diseño de las tenazas se separó cada zona para tener una mejor precisión en el cálculo, en este caso de debe asumir que la zona completa es la de impacto por lo que se vuelve a ejercicio anterior para saber cuánta fuerza se ejercerían en la zona de las tenazas de importancia como se ve en la siguiente imagen.

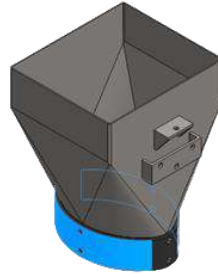


Figura 27. Diseño de la tolva

Analizando las fuerzas de presión en el Ansys se tiene:

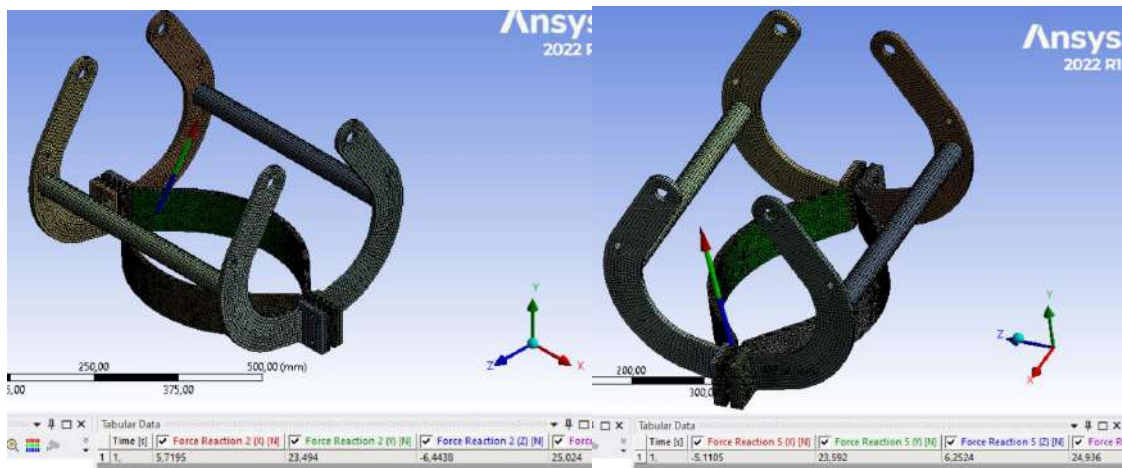


Figura 28. Análisis de fuerzas en ANSYS

Dicho esto, se ingresan estas fuerzas con signo contrario en la tolva (3ra ley de Newton), generando así lo siguiente.

Al generar una malla por defecto resulta en un mallado con una pésima calidad de malla (promedio mínimo según el criterio del Element Quality del 75%)

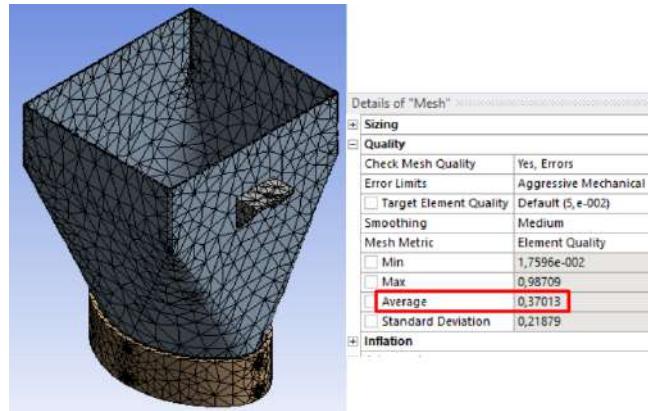


Figura 29. Mallado por defecto de la tolva

Resulta complicado aplicar un método a cada elemento sin la posibilidad de empeorar el mallado sobre todo por las orejas que son el punto de apoyo por lo que se deja a libertad del software la elección del método automático más conveniente. Sin embargo, para suavizar y uniformizar la malla se aplica un “Body sizing” de 5mm que tras varias iteraciones resulta en el tamaño más adecuado que evita singularidades en el mallado, así como una calidad del 77.445%.



Figura 30. Mallado de calidad de la tolva

En base a esta malla generada inicialmente se obtienen los siguientes resultados:

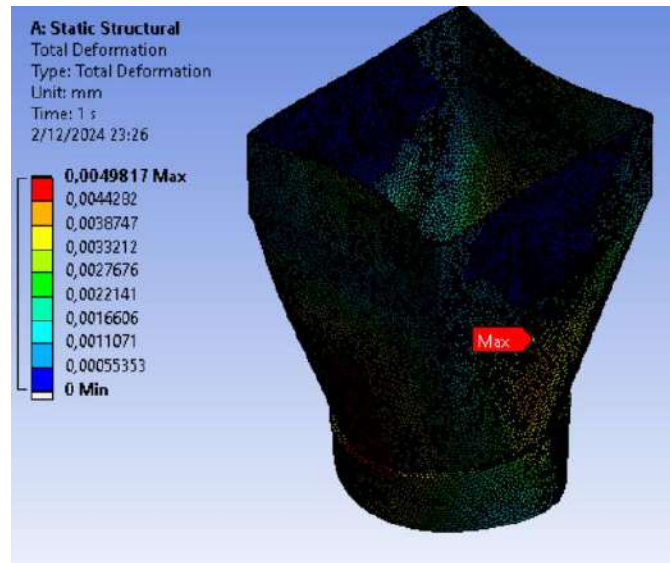


Figura 31. Deformación en la tolva

Al considerar únicamente el efecto del saco sobre la tolva, es preciso sobre entender que el diseño esta sobredimensionado, para tener un análisis más real se tendría que agregar el peso del producto. No se evidencia ningún punto crítico debido a su sobre diseño por lo que se irá mejorando la malla a esperas de que aparezca uno o la reconfirmación de sobre diseño.

Tabla 9. Análisis de convergencia de las tenazas

Iteración	Nodos Malla	Calidad Malla	Deformación
1	315808	77.445	0.00498
2	511169	80.455	0.00497
3	1088552	79.45	0.00498

Evidentemente, se confirma la veracidad del sobre diseño mientras que la deformación converge en 0.005 mm.

### Validación de funcionamiento

Para el análisis de los datos obtenidos de la ensacadora semiautomática, se identificaron de tipos de variables: independientes y dependientes. La variable independiente es el peso nominal del saco (25kg, 30kg, 35kg, 40kg, 45kg y 50kg) ya que esta no varía y se mantiene como referencia en cada proceso de medición. Las variables consideradas como dependientes son el peso real del saco y el tiempo de llenado debido a que estos pueden variar por factores de operativos y el margen de error de la ensacadora ( $\pm 50$  gramos). Estas variables permiten evaluar la precisión de la máquina, así



como cuál será su eficiencia en términos de producción y el comportamiento que presenta en el proceso de llenado.

*Tabla 10. Descripción de variables*

VARIABLE	TIPO	UNIDAD DE MEDIDA	CONCEPTO
Peso	Cuantitativa continua independiente	kilogramos	Es el peso obtenido en cada saco
Tiempo	Cuantitativa continua dependiente	segundos	Tiempo que ejecuta la ensacadora al momento del pesaje de cada saco.

Para tener una validación del funcionamiento de la ensacadora semiautomática se realizaron diferentes mediciones con diferentes tipos de peso dentro del rango establecido de la ensacadora el cual es de 25kg a 50kg, por ende, se seleccionó 6 pesos diferentes y de cada uno se realizaron 10 pruebas para corroborar la precisión de la maquina  $\pm 50$  gramos. Se efectuó también la toma de datos del tiempo de llenado hasta el peso objetivo mediante el uso de un cronómetro.

A continuación, en las siguientes tablas se muestran los datos obtenidos al momento de realizar el pesaje en la ensacadora semiautomática.

*Tabla 11. Pesaje y tiempo de llenado de sacos de 25kg, 30Kg*

Sacos de 25kg			Sacos de 30kg		
N° de Prueba	Peso nominal (Kg)	Tiempo de llenado (s)	N° de Prueba	Peso nominal (Kg)	Tiempo de llenado (s)
1	25	6,53	1	30,05	7,21
2	25	6,81	2	30,05	8,16
3	25	7,98	3	30	8,37
4	25,05	8,11	4	30	8,97
5	25	7,24	5	30,05	7,10
6	25	7,68	6	30	8,61
7	25,05	7,96	7	30	8,74
8	25,05	7,2	8	30	8,99
9	25	6,98	9	30	8,12
10	25	7,31	10	30,05	9,01
<b>Promedio</b>	25,015	7,38	<b>Promedio</b>	30,02	8,328

Tabla 12. Pesaje y tiempo de llenado de sacos de 35kg, 40Kg

Sacos de 35kg			Sacos de 40kg		
N° de Prueba	Peso nominal (Kg)	Tiempo de llenado (s)	N° de Prueba	Peso nominal (Kg)	Tiempo de llenado (s)
1	35,05	8,96	1	40	11,14
2	35,05	10,11	2	40	10,67
3	35	9,19	3	40,05	12,90
4	35	9,37	4	40,05	12,35
5	34,95	9,67	5	40,05	10,98
6	35,05	9,97	6	40	12,83
7	35,05	10,31	7	40	12,69
8	35,05	10,11	8	40	12,71
9	35	10,28	9	40	11,89
10	35	10,45	10	40,05	11,98
<b>Promedio</b>	35,02	9,842	<b>Promedio</b>	40,02	12,014

Tabla 13. Pesaje y tiempo de llenado de sacos de 45kg, 50Kg

Sacos de 45kg			Sacos de 50kg		
N° de Prueba	Peso nominal (Kg)	Tiempo de llenado (s)	N° de Prueba	Peso nominal (Kg)	Tiempo de llenado (s)
1	45,05	13,33	1	50,05	14,61
2	45,05	13,65	2	50	14,90
3	45	13,25	3	50	15,00
4	45	13,60	4	50	14,95
5	45,05	12,92	5	50	14,89
6	44,95	13,38	6	50	14,93
7	45	13,87	7	50,05	14,73
8	45,05	13,75	8	50	14,80
9	45	14,49	9	50	14,86
10	45	13,29	10	50,05	14,97
<b>Promedio</b>	45,015	13,553	<b>Promedio</b>	50,015	14,864

Mediante la obtención de los datos se van a realizar diferentes tipos de análisis, para poder comprobar la precisión al momento del pesaje y la verificación del cumplimiento de la capacidad de producción de la máquina.

Los resultados obtenidos muestran que la varianza y la desviación estándar son bajas para cada peso nominal, indicando que la maquina mantiene una precisión alta en el pesaje. El valor más alto de la desviación estándar es 0.033 kg (33gr) para los sacos de 35kg, lo que sugiere que este peso

tiene la mayor variabilidad en las mediciones, no obstante, todas las mediciones están dentro del margen de error permitido confirmando que la máquina cumple con su precisión establecida mediante la aplicación de estos análisis de datos.

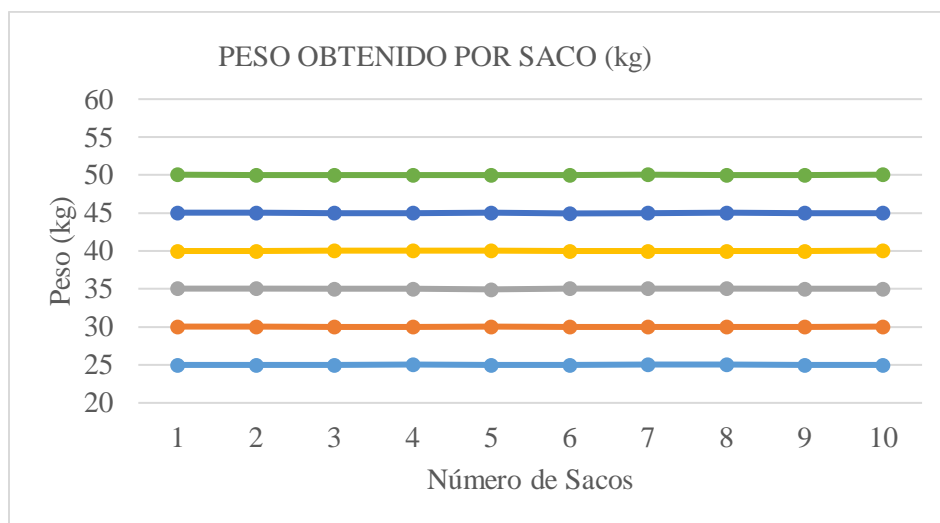


Figura 32. Grafica general del Peso de Ensacado

Al graficar los datos obtenidos en las tablas de recopilación de datos se puede observar que el sistema de dosificado se encuentra funcionando de manera ideal, esto debido a que la gráfica de peso obtenido por saco tiene una tendencia lineal lo que quiere decir que no hay una variación significativa en la toma de datos de los 6 diferentes seleccionados.

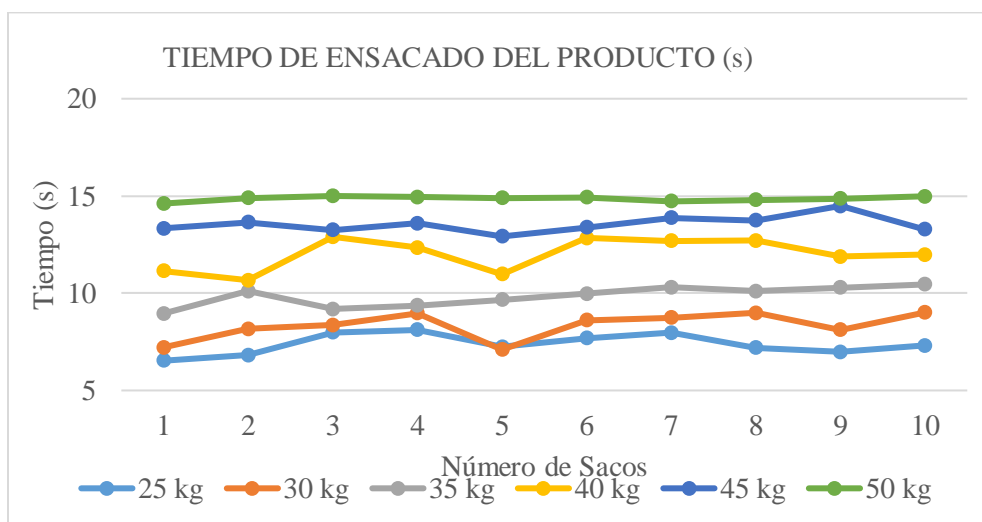


Figura 33. Gráfica General del Tiempo de ensacado

Con la realización de todos estos análisis se puede decir que la ensacadora mantiene una precisión muy aceptable, esto debido a que el error absoluto se mantiene dentro de su rango permitido  $\pm 50$  gramos. Además, al realizar el análisis del error relativo se observa que a mayor peso del saco menor es su valor porcentual, garantizándonos que el sistema de dosificación funciona de manera adecuada. De igual manera los datos de análisis de producción nos indican que es una máquina con un alto rendimiento en el proceso de dosificado, ya que la producción que esta maneja por horas es sumamente elevada.

## Conclusiones

El sistema de dosificación seleccionado con la adaptación de la compuerta limitadora del flujo se ajustó a la complejidad de los productos de difícil flujo. Las pruebas realizadas confirmaron que la maquina mantiene un margen de error dentro del rango esperado  $\pm 50$  gramos, garantizando que cada saco contenga la cantidad correcta del producto.

La compuerta reguladora de flujo automática utilizada para el llenado logro demostrar que es eficaz, ya que permitió el llenado de varios tipos de productos sin afectar la uniformidad del peso obtenido en cada saco. Gracias al diseño logrado la máquina puede funcionar en diferentes condiciones de trabajo garantizando un flujo de producto constante y controlado.

Uno de los logros más importante de la máquina fue encontrar un equilibrio entre la velocidad y precisión, esto con ayuda de los sistemas mecánicos y electrónicos al momento del pesaje, ya que se consiguió aumentar la velocidad del proceso sin comprometer la exactitud obteniendo una mayor productividad.

La integración de tecnología (variador de frecuencia, sensores de pesaje, un indicador digital P-EX2002 y un LOGO PLC de siemens) permitió tener un control más preciso al realizar el pesaje reduciendo los errores humanos y obteniendo un mejor producto final. Además, se implementaron sistemas de seguridad para protección de la máquina por sobrecargas, así como un pulsador de seguridad para uso del operario logrando un lugar de trabajo seguro y confiable.

Las pruebas realizadas en la máquina fueron creadas simulando entornos industriales de trabajo, confirmando que la ensacadora semiautomática funciona de una manera eficaz y estable. También se pudo comprobar que efectivamente es capaz de operar con diferentes productos de difícil flujo y mantener un excelente desempeño, generando una gran confianza al momento de realizar su implementación en cualquier área de la industria que requiera su uso.

El análisis de costos pudo demostrar que la ensacadora semiautomática para productos de difícil flujo es una inversión rentable para las empresas que la requieran. Su diseño mejorado ayuda a reducir los costos operativos y de mantenimiento, logrando así un retorno de inversión en un corto periodo de tiempo. Además, su eficacia en el pesaje permite maximizar el aprovechamiento del producto evitando desperdicios, la contaminación de este y, por ende, mejorando la rentabilidad del negocio.

## Referencias

1. Acero inoxidable en la industria alimentaria | EPROM, SA. (n.d.). Retrieved May 24, 2025, from <https://www.epromsa.com/acero-inoxidable-en-la-industria-alimentaria-las-claves-para-una-aleacion-perfecta/>
2. Brandon, E., & Diaz, A. Q. (2020). Simulación de un dosificador de chocolate automático. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21207>
3. Características del acero al carbono grado maquinaria | Aceromafe. (n.d.). Retrieved May 24, 2025, from <https://www.aceromafe.com/caracteristicas-del-acero/>
4. Celda de Carga Explicada: Qué es y Cómo Funciona el Sensor. (n.d.). Retrieved May 24, 2025, from <https://www.flintec.com/es/aprender/sensor-de-peso/celulas-de-carga>
5. Célula de carga de tracción (compresión) SL | LAUMAS. (n.d.). Retrieved May 24, 2025, from <https://www.laumas.com/es/producto/sl-celulas-de-carga-de-traccion-compresion/>
6. Cómo funciona una ensacadora - Maquinaria Tadel. (n.d.). Retrieved May 24, 2025, from <https://maquinariatadel.com/como-funciona-una-ensacadora/>
7. Curimilma Huanca, J. H. (2012). Prácticas de simulación y programación del mini PLC LOGO con fines didácticos. <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/18020>
8. Diseño Preliminar De Una Celda De Carga Para Maquinado. | Flores | Mecánica Computacional. (n.d.). Retrieved May 24, 2025, from <https://cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/view/530>
9. EET-60 ENSACADORA ELECTRÓNICA – Grupo Victor. (n.d.). Retrieved May 24, 2025, from <https://grupovictor.com/producto/eet-60-ensacadora-electronica/>
10. Explora los tipos y Usos de Sistemas de Pesaje Industrial. (n.d.). Retrieved May 24, 2025, from <https://pesaje.com/blog/sistemas-de-pesaje-industrial/>

11. Futek México - Marca Exclusiva Logicbus. (n.d.). Retrieved May 24, 2025, from <https://www.logicbus.com.mx/futek>
12. Gómez, J. S. (n.d.). Catalogo Martin. Retrieved May 24, 2025, from [https://www.academia.edu/38868981/Catalogo\\_Martin](https://www.academia.edu/38868981/Catalogo_Martin)
13. Juan, M., Cangas, G., Christian, H., & Remache, J. C. (n.d.). ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL ESCUELA DE INGENIERÍA "DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA GRAVIMÉTRICA PARA EL LLENADO CON TIERRA DE BOLSAS PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO.
14. Krause, P. C. ., Wasynczuk, Oleg., & Sudhoff, S. D. . (1995). Analysis of electric machinery. 564.
15. Lenin, M., Herrera, G. P., Jair, E., & Cuadrado, V. (2009). Diseño y construcción de un módulo didáctico con controladores programables; para el laboratorio de automatización industrial de procesos mecánicas de la Facultad de Ingeniería Mecánica. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1616>
16. (PDF) Diagnóstico de fallas en los rodamientos de motores eléctricos empleando variables eléctricas. (n.d.). Retrieved May 24, 2025, from [https://www.researchgate.net/publication/233382297\\_Diagnostico\\_de\\_fallas\\_en\\_los\\_rodamientos\\_de\\_motores\\_electricos\\_empleando\\_variables\\_electricas](https://www.researchgate.net/publication/233382297_Diagnostico_de_fallas_en_los_rodamientos_de_motores_electricos_empleando_variables_electricas)
17. Repositorio Digital - EPN: Simulación de un dosificador de chocolate automático. (n.d.). Retrieved May 24, 2025, from <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21207>
18. Rodamientos. (2019).
19. Shigley's Mechanical Engineering Design | Enhanced Reader. (n.d.).
20. Transportador de tornillo sin fin | EXTRACCIÓN Y REFINACIÓN DE AZÚCAR. (n.d.). Retrieved May 24, 2025, from <https://extraccionyrefinaciondeazucartorin.blogspot.com/2021/07/transportador-de-tornillo-sin-fin.html>
21. Transportadores de Tornillo sin fin : Dimont Ltda, Barranquilla, diseno, fabricacion, montajes, automatizacion suministros, comercializacion, mantenimiento. (n.d.). Retrieved May 24, 2025, from <https://dimontltda.com/transportadores-de-tornillo-sin-fin/>



22. Variadores De Frecuencia (VFD): Control Y Eficiencia En Motores Industriales - Ingeniería Rached. (n.d.). Retrieved May 24, 2025, from <https://ingrached.com/variadores-de-frecuencia-vfd-control-y-eficiencia-en-motores-industriales/>

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).