

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE DOSIFICACIÓN DE MICRO NUTRIENTES PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA AVIPAZ CÍA. LTDA.”

Franklin Silva, Félix Manjarrés, Andrés Rivera.
Ingeniería Mecatrónica. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE,
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Quijano y Ordóñez S/N y Hermanas Páez, Latacunga, Ecuador,
e-mail: fmsilva@espe.edu.ec, javier.manjarres@gmail.com, andyrive@hotmail.com.

RESUMEN

El presente artículo expone el diseño e implementación de un sistema automatizado de dosificación de micronutrientes para optimizar el proceso de producción. Para el desarrollo se utiliza diversos tipos de diseños: concurrente, por calidad y funcional de manera que se obtenga el mejor diseño y producto posible.

El material utilizado para la fabricación del sistema es acero inoxidable AISI 304, debido a que los materiales que son manejados llámense micro nutrientes o vitaminas poseen variadas propiedades entre ellas corrosivas, higroscópicas, básicas, ácidas y tóxicas. El sistema consta de: estructura, sistema electrónico dimensionado según los requerimientos funcionales y los elementos mecánicos implementados. El sistema electrónico se dimensionó en base a los requerimientos funcionales y de los componentes mecánicos implementados.

El sistema se encuentra automatizado y controlado mediante el uso de un PLC por medio de un HMI basado en computador, el cual permite monitorear, supervisar y controlar el proceso completo. El pesaje del producto es monitoreado y medido a través de un indicador de peso y una celda de carga instalada sobre la tolva de recepción.

El proceso consta de un control de acceso de usuarios según el nivel de prioridades que se le otorgue son capaces de añadir, modificar, borrar las recetas que pueden ser producidas. Además el HMI consta con ventanas que permiten llevar a cabo una dosificación automática o manual, una ventana de avisos, e impresión de reportes de producción como de advertencias por errores que superen el margen máximo permitido en la dosificación.

Palabras Claves:

Dosificación, micro nutrientes, HMI basado en PC, celda de carga

ABSTRACT

This paper presents the design and implementation of an automatic dosing of micronutrients system to optimize the production process. For developing various types of designs is used: concurrent, functional and quality so as to obtain the best possible product design.

The material used to manufacture the system is stainless steel AISI 304 because the materials that are handled have varied properties including corrosive, hygroscopic, basic, acidic and toxic. The system consists of: structure, the electronic system was sized based on the functional requirements and implemented mechanical components.

The system is automated and controlled by the use of a PLC an HMI based computer, which allows monitoring, supervising and controlling the entire process. The weighing of the product is monitored and measured through a weight indicator and a load cell installed on the receiving hopper.

The process has a control user access to the level of priority to be granted are able to add, modify, and delete recipes that can be produced. In addition, the HMI has windows that allow you to perform an automatic or manual dosing, an alarm window and print production reports warnings as errors that exceed the maximum permitted range of dosage.

Keywords:

Dosage, micro nutrients, HMI based on PC, load cell.

I. INTRODUCCIÓN.

La fabricación de alimentos se está dirigiendo hacia la adición directa de pre-mezclas y aditivos al alimento final. Los fabricantes de alimento comercial usan mezclas base en la planta para adaptarse a la variedad de alimentos que tienen que producir. Sin embargo, en lugar de comprar micro ingredientes puros individuales y de hacer las mezclas base internas a partir del proceso de dosificación están comprando algunas pre-mezclas concentradas y combinaciones de micro ingredientes sencillos que se suministran en relaciones diferentes para acomodarse a la variedad de alimentos que producen.

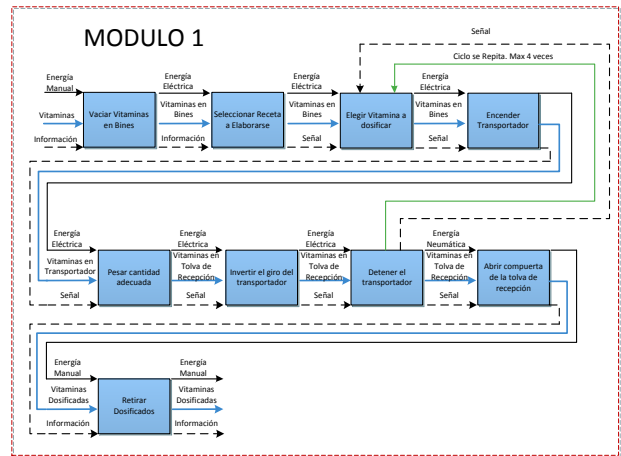


Figura 1.2. Diseño Funcional Módulo I.

El objetivo de este proyecto consiste en el diseño de un sistema de dosificación que permita la elaboración de las pre mezclas vitamínicas en la misma fábrica, de manera que el costo de estas se reduzca, se optimice el proceso que hasta el momento viene siendo manual lo cual genera ciertos riesgos de los trabajadores en sus vías respiratorias por el manejo de estas sustancias de uso delicado.

DISEÑO POR CALIDAD.

La casa de la calidad (Figura 1.3) es una herramienta del QFD (Despliegue de la Función de Calidad) que permite satisfacer los requisitos del cliente en todo el proceso de diseño.

II. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.

DISEÑO FUNCIONAL.

Es una técnica del diseño cuyo objetivo primordial es el de describir las funciones que un producto va a realizar mediante un análisis donde se excluye los componentes físicos que componen al producto.

En las Figura 1.1 y Figura 1.2 se muestra el desarrollo del módulo funcional del primer conjunto.

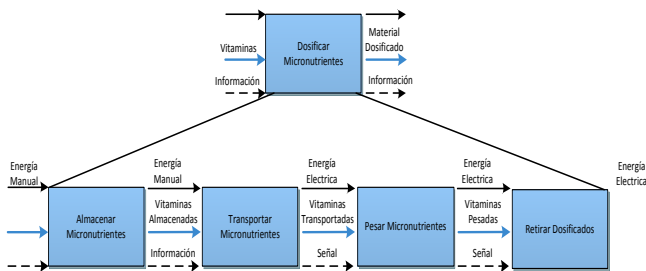


Figura 1.1. Diseño Funcional

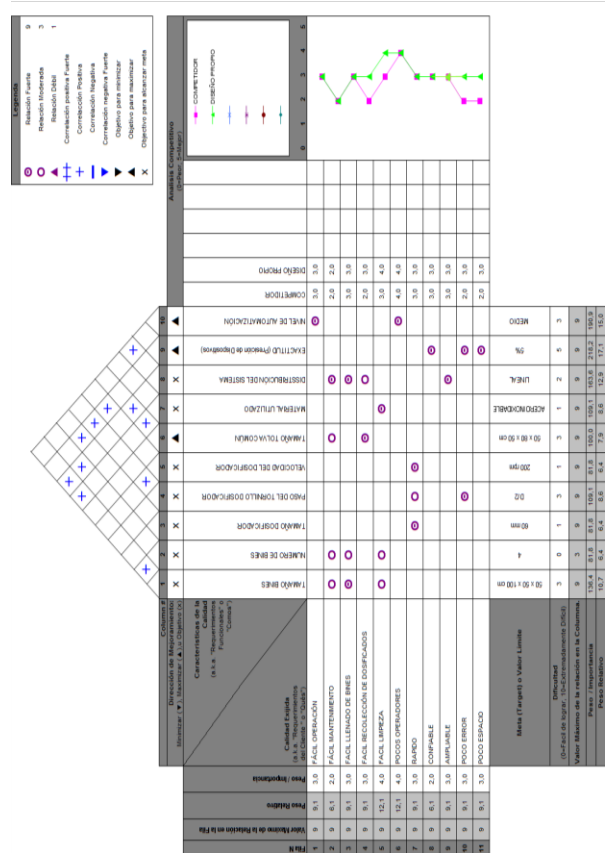


Figura 1.3. Casa de la Calidad.

SELECCIÓN DEL MÉTODO DE DOSIFICACIÓN.

El sistema de dosificación debe cumplir con las siguientes funciones:

- Almacenar los micronutrientes.
- Transportar los micronutrientes.
- Pesarse la cantidad de micronutrientes según la receta seleccionada.
- Desalojar los micronutrientes de la tolva de recepción común.

La alternativa propuesta puede observarse en la Figura 1.4

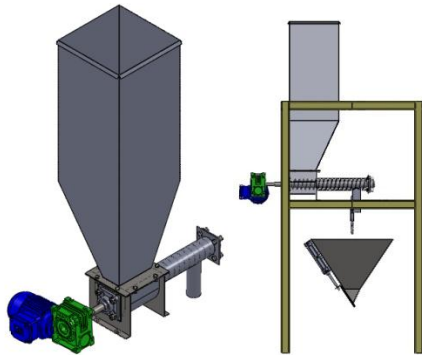


Figura 1.4. Alternativa del Sistema.

DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO.

SELECCIÓN MATERIAL.

El material empleado es:

AISI 304.

- Bin
- Sistema Dosificador
- Tolva de recepción común.

ASTM 513:

- Estructura.

CAPACIDAD DE ALMACENAJE.

La capacidad de los contenedores o bins de almacenamientos viene determinada por el peso de la materia prima y su densidad.

Los contenedores deben almacenar 75 Kg. El valor de la densidad $\rho = 1201 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$, se ha obtenido como el promedio de la sumatoria de ingredientes a ser dosificados. A partir de la Ec. 1.1 se calcula el volumen necesario para contenerlo.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Ec. 1.1.

DISEÑO DEL CONTENEDOR O BIN.

El bin es un cuerpo formado por un prisma rectangular (Figura 1.5) y un prisma trapezoidal. Su dimensionamiento se realiza por medio de las Ec. 1.2 y Ec. 1.3.

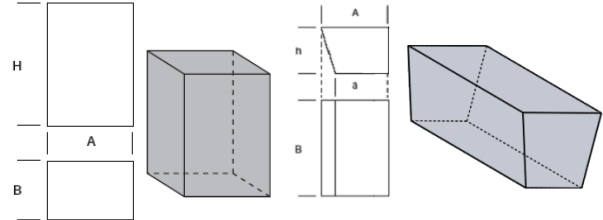


Figura 1.5. Prisma rectangular y trapezoidal.

$$V = A \times B \times H$$

Ec. 1.2.

$$V = a \times h \times B + \left(\frac{A - a}{2}\right) \times B \times h$$

Ec. 1.3.

CÁLCULO DEL ESPESOR

El diseño del bin estará regido bajo los criterios de ingeniería mecánica según establece la norma ASME (Sociedad Americana de Ingeniería Mecánica) sección VIII, división 1, para todos los diseños de elemento sometidos a presión interna. Se utilizará la teoría del cálculo de espesor de las placas rectangulares de la teoría de placas planas (Seely, 1977).

Esta teoría sugiere aplicar un espesor promedio entre los dos siguientes casos:

PLACAS CON BORDES SIMPLEMENTE APOYADOS.

Según esta teoría el esfuerzo máximo en la placa se halla en sus ejes diagonales. El esfuerzo máximo en estas diagonales (área crítica) se la determina por la Ec. 1.4.

$$s = \frac{1}{2} \times \frac{h_t^2}{h_t^2 + c^2} \times \frac{wc^2}{t^2}$$

Ec. 1.4.

PLACAS CON BORDES TOTALMENTE EMPOTRADOS.

Según esta teoría el esfuerzo máximo en la placa se da en los ejes centrales a manera de cruz y se calcula por la Ec. 1.5

$$s = \frac{6nwc^2}{t^2}$$

Ec. 1.5.

DISEÑO DE LA TOLVA DE RECEPCIÓN COMÚN.

La tolva común se describe como un contenedor de recepción, almacenaje y descarga del material previamente pesado. La forma geométrica que se ha seleccionado para el contenedor es un cuerpo formado por una pirámide truncada (Figura 1.6) y se dimensiona mediante la Ec. 1.6

$$V = \frac{h}{3}(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1A_2})$$

Ec. 1.6.

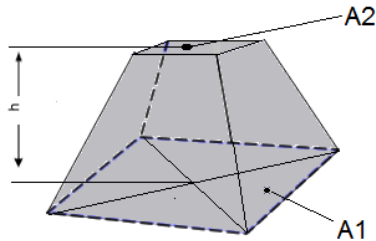


Figura 1.6. Pirámide Truncada.

DISEÑO DEL TRANSPORTADOR.

CAPACIDAD DEL TRANSPORTADOR DE TORNILLO.

La capacidad volumétrica 'V' en $\frac{m^3}{hora}$ depende del diámetro del tornillo 'D' en metros, paso del tornillo 'S' en metros, su velocidad de rotación rpm 'N' y la eficiencia de carga del área de la sección transversal 'φ'. La capacidad 'Q' en $\frac{Kg}{hora}$ se da por la Ec. 1.7

$$Q = V_\gamma = \frac{\pi D^2}{4} S 60 N \phi \rho C$$

Ec. 1.7.

CALCULO DE LA POTENCIA.

Según (Ray, 2008), ha recomendado el cálculo de la necesidad de potencia de un transportador de tornillo. La potencia de accionamiento de un

transportador de tornillo cargado viene dado por la Ec. 1.8

$$P = P_H + P_N + P_{st}$$

Ec. 1.8.

POTENCIA NECESARIA PARA TRANSPORTAR EL MATERIAL.

La potencia P_H en Kw es el producto de la tasa de flujo másico del material "Q", la longitud de movimiento de material en la cinta transportadora "L" y un coeficiente de fricción artificial "λ", también llamado coeficiente de resistencia del material. Se calcula según la Ec. 1.9.

$$P_H = \frac{QL'}{367} \lambda [W]$$

Ec. 1.9.

POTENCIA DE ACCIONAMIENTO DEL TORNILLO SIN CARGA.

Es comparativamente un valor más bajo. Es proporcional al diámetro del tornillo y la longitud total del tornillo como lo muestra la 0

$$P_N = \frac{DL}{20} [KW]$$

Ec. 1.10.

POTENCIA DEBIDO A LA INCLINACIÓN.

Este requisito de potencia es el producto de la tasa del flujo másico y la altura a la que el material está siendo transportado. Se calcula según la Ec. 1.11

$$P_{st} = \frac{QH}{367}, W$$

Ec. 1.11.

DISEÑO DEL EJE.

El eje del tornillo dosificador es un elemento cilíndrico de sección circular hueco, que se encontrara girando, sobre el cual se encuentra soldado la hélice que conforma el sin fin. El caso del tornillo sin fin se encuentra sometido principalmente a flexión originada por el peso propio del sin dosificador, torsión originada por el torque producido por el motor

Se aplicara la teoría de la energía de la distorsión para materiales dúctiles también conocida como de Von Misses para predecir si existirá falla en nuestro diseño.

Se asumirá un diámetro $D = 38.1\text{ mm}$ con un espesor de $e = 2.5\text{ mm}$ para realizar todos los cálculos, porque se disponía de material en óptimas condiciones para ser utilizado en este proyecto.

Se obtuvo la masa del material Acero AISI 304 utilizando el software Solid Works 2012 como se indica en la Figura 1.7.

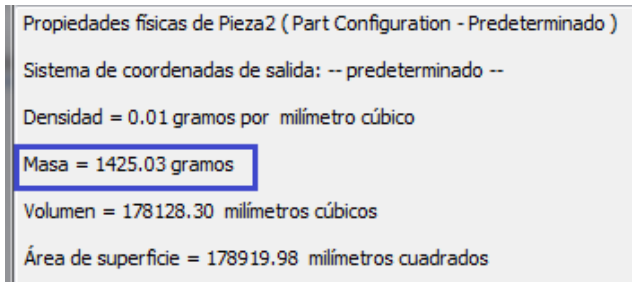


Figura 1.7. Masa del eje

Haciendo el análisis en el software MDSolid se obtuvo diagramas de torsión (Figura 1.8), fuerza cortante y momento flexionante (Figura 1.9) tomando en consideración que el peso actúa como una carga distribuida a lo largo de la longitud del eje.

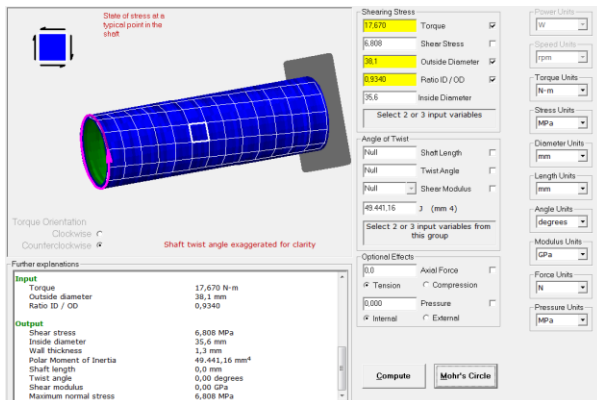


Figura 1.8. Diagrama de Torsión.

DISEÑO POR TORSIÓN.

Cuando un eje se somete a un torque, sufre un giro en el que una sección transversal gira en relación a otras secciones transversales en el eje. El cálculo del esfuerzo por torsión para una sección transversal circular hueca viene dado por la Ec. 1.12

$$\tau_{torsion} = \frac{16 T D}{\pi(D^4 - d^4)}$$

Ec. 1.12.

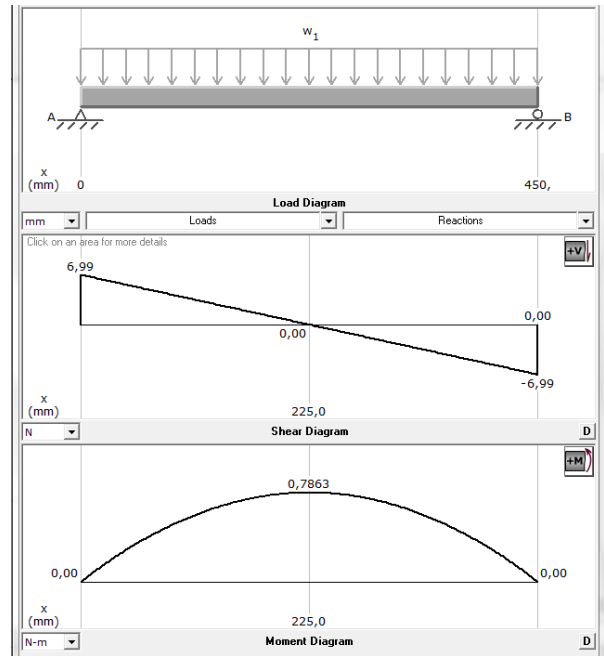


Figura 1.9. Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante.

DISEÑO POR FLEXIÓN.

La fórmula de la flexión viene dada por la Ec. 1.13

$$\sigma_{x_{flexion}} = \frac{M_{max}}{S}$$

Ec. 1.13.

DISEÑO POR CORTANTE DEBIDO A LA FLEXIÓN.

El esfuerzo por corte en un tubo de pared delgada viene dado por la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Ec. 1.14.

$$\tau_{corte} = \frac{2 V}{A}$$

Ec. 1.14.

ESFUERZOS COMBINADOS.

Los esfuerzos principales y los esfuerzos cortantes máximos en el punto de aplicación se determinan usando las ecuaciones de transformación de esfuerzos mediante las Ec. 1.15, Ec. 1.16 y Ec. 1.17.

Esfuerzo Principal Máximo σ_1 :

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Ec. 1.15.

Esfuerzo Principal Mínimo σ_2 :

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Ec. 1.16.

Esfuerzo Cortante Máximo τ_{max} :

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Ec. 1.17.

Con estos valores se aplicara la Teoría de la energía de distorsión máxima o de Von Mises mediante el uso de la Ec. 1.18.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2}$$

Ec. 1.18.

Si se cumple la condición de la Ec. 1.19 se comprueba que no existirá falla en el material:

$$\sigma' \leq S_y$$

Ec. 1.19.

FACTOR DE SEGURIDAD

El coeficiente de seguridad en el punto analizado, de acuerdo con el criterio de von Mises se define mediante la Ec. 1.20.

$$FS = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Ec. 1.20.

El diseño concluye ya que el factor de seguridad obtenido es un valor mayor a 1; lo que verifica que el diseño se realizó de manera correcta.

DEFLEXIÓN MÁXIMA.

La cantidad de deflexión que el eje experimenta debido al peso del tornillo es directamente proporcional a su vida útil. La deflexión de un tornillo de longitud estándar no suele ser un problema. Sin embargo, en nuestro caso el diseño de este transportador no se rige a la Norma CEMA-350 (Screw Conveyors for Bulk Materials) porque su tamaño es demasiado pequeño por lo que es necesario el cálculo de la deflexión la cual debe mantenerse en un valor mínimo para aumentar la

vida útil del tornillo. Para el cálculo de la deflexión máxima se utilizará la Ec. 1.21.

$$f = \frac{5WL^3}{384EI}$$

Ec. 1.21.

DISEÑO DE LA HÉLICE.

La hélice del transportador se calcula considerándola como a una viga corta en voladizo proyectada desde el eje del transportador sin fin. La carga se toma como paralela al eje concentrado en el radio medio de la hélice, el ancho de la viga es igual a la longitud de la hélice media en el radio medio como se muestra en la Figura 1.10.

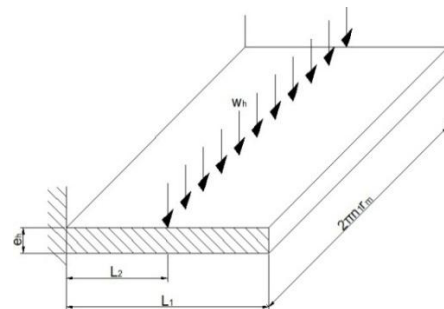


Figura 1.10. Representación de la Hélice del Sin Fin.

CALCULO DE LOS PARÁMETROS DEL SIN FIN

A partir de la Figura 1.11 se determinaran los parámetros L_1 , L_2 y r_m para el análisis del sin fin como a una viga.

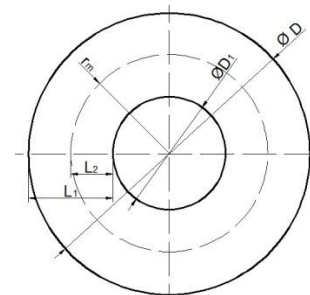


Figura 1.11. Parámetros L del Sin Fin.

CALCULO DEL ESPESOR DE LA HÉLICE.

Se realiza el análisis de la hélice como a una viga en voladizo, aplicando las condiciones de sumatoria

de fuerzas y sumatoria de momentos hallamos los valores de las reacciones. (Figura 1.12)

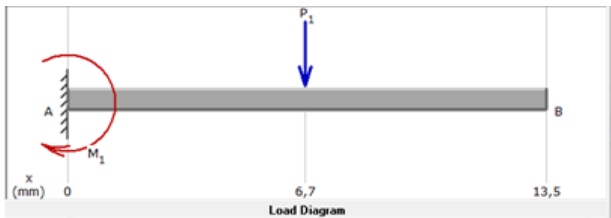


Figura 1.12. Diagrama de Fuerzas aplicadas al Sin Fin.

Utilizando el software MDSolid, se obtiene los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante (Figura 1.13) tomando en consideración que la carga máxima que afecta al sin fin actúa como una carga puntual a lo largo de la longitud.

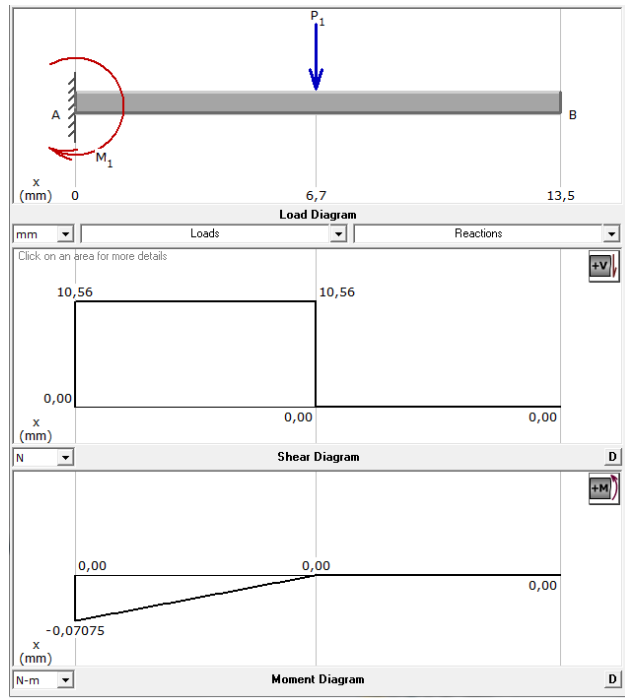


Figura 1.13. Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante.

A partir de esto se utilizará los conceptos de diseño por cortante, diseño por flexión y diseño por desgaste para obtener el valor del espesor con el que se deberá construir el hélice del sin fin. Para evitar deformaciones permanentes cuando se quiten las cargas se utiliza un esfuerzo admisible (o esfuerzo de trabajo) que no se debe rebasar al esfuerzo calculado. Los límites de tensión para distintas situaciones según ASME son:

- Tensión.
El esfuerzo admisible de la tensión en una sección es:

$$F_b = 0.6 S_y.$$

- Corte.
El esfuerzo admisible en corte en una sección es la siguiente:

$$F_v = 0.4 S_y.$$

DISEÑO POR CORTANTE.

Para el diseño por cortante se utilizará la Ec. 1.22 y el criterio que indica que el esfuerzo cortante máximo debe ser menor que el esfuerzo admisible en corte.

$$\tau_{max} = \frac{3V}{2A} \leq F_v$$

Ec. 1.22.

DISEÑO POR FLEXIÓN.

Para el diseño por flexión se utilizará la Ec. 1.23 y el criterio que indica que el esfuerzo flexionante máximo debe ser menor que el esfuerzo admisible en flexión.

$$\sigma_{max} = \frac{M_1 e}{I_n} \leq F_b$$

Ec. 1.23.

DISEÑO POR DESGASTE

El diseño del desgaste es uno de los más importantes ya que por el contacto que va existir entre la hélice y el material a ser transportado existe fricción, y esto produce un deterioro. Por tal motivo se debe hacer un diseño adecuado para evitar un desgaste prematuro del material. Se utilizará la Ec. 1.24

$$V_d = \frac{k_d F X_d}{3P_f}$$

Ec. 1.24.

DESARROLLO DE LA HÉLICE.

La hélice del sin fin se desarrolla por tramos o pasos los cuales serán soldados unos a otros. Para realizar el desarrollo de la hélice (Figura 1.14).

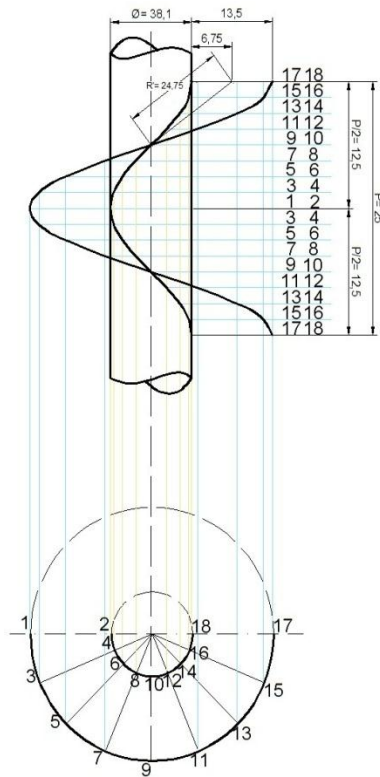


Figura 1.14. Alzado de un Paso del Sin Fin.

SELECCIÓN DEL CILINDRO NEUMÁTICO.

Para la selección del cilindro neumático se procederá a calcular la fuerza necesaria para contraer la compuerta y hallar el diámetro necesario.

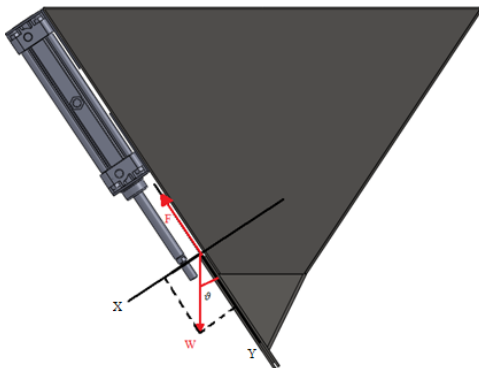


Figura 1.15. Fuerzas actuantes en el cilindro neumático.

SELECCIÓN DE ELEMENTOS.

En base a los parámetros de diseño y las necesidades del sistema se seleccionó los siguientes elementos:

- Cilindro Neumático JSI-32X100-P
- PLC Siemens S7-1214C AC/DC/RELE.
- Indicador de peso. Ree Tremo.
- Celda de Carga Tipo S. Capacidad 50kg.
- Motor Siemens 1LA7 070-4YA60.
- Reductor Transtecno CMP-040.
- Variador de Velocidad Siemens SINAMICS G110

III. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL PROCESO.

Las pruebas de dosificación servirán para comprobar la efectividad y eficiencia del sistema construido.

Se ha escogido una receta para las pruebas, la cual tendrán diferentes proporciones de micronutrientes (Tabla 1.2).

Tabla 1.2.

Recetas.

	Ingrediente 1	Ingrediente 2	Ingrediente 3	Ingrediente 4
Receta	800	2300	1200	2700

Para las pruebas se realizarán los siguientes pasos:

Se introducirán los micronutrientes en cada uno de los bins, por separado y en sus respectivas proporciones dependiendo de la receta. Se encenderá la máquina y se tomarán tres muestras de peso de cada ingrediente. Y se calculará el promedio, el grado de desviación estándar y el error de los diferentes ingredientes (Tabla 1.3).

Tabla 1.3.

Pruebas de Dosificación para Receta de Aves.

Número de muestras	AVES			
	I1	I2	I3	I4
1	795,00	2296,00	1208,00	2696,00
2	795,00	2295,00	1208,00	2698,00
3	800,00	2303,00	1201,00	2698,00
PROMEDIO	796,67	2298,00	1205,67	2697,33
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	2,36	3,56	3,30	0,94
% ERROR	0,29	0,15	0,27	0,03

Una vez tomado todos estos datos se procederá hacer un promedio para obtener valores para el sistema.

Como muestra la Tabla 1.4 la desviación estándar del sistema es de 2.54 lo que implica que cualquier valor pesado tendrá ± 2.54 gramos, que representa un error del 0.19%.

Tabla 1.4.

Desviación Estándar y Error del Sistema de Dosificación.

		DESVIACIÓN ESTÁNDAR	% ERROR
RECETA 1	I1	2,36	0,29
	I2	3,56	0,15
	I3	3,30	0,27
	I4	0,94	0,03
PROMEDIO		2,54	0,19

IV. CONCLUSIONES.

- La correcta dosificación de materias primas que entran en el procesamiento de productos como los alimenticios son un elemento fundamental para mantener la calidad y seguridad de los mismos, a pesar de esto es complicado encontrar sistemas automáticos en el país que permitan realizar esta tarea de una manera más tecnificada y segura.
- Un diseño adecuado de un producto implica definir y utilizar metodologías que sean capaces de captar, entender y filtrar los requerimientos del cliente para ser plasmadas en un producto. En este proyecto estas tareas han sido efectuadas por medio del Despliegue de la Función de la Calidad a través de su herramienta "La Casa de la Calidad" que engloba las necesidades del cliente y los requerimientos técnicos del diseñador.
- Mediante el análisis funcional se ha diseñado un sistema basado en las tareas que la misma debe realizar, la agrupación de estas funciones afines permiten establecer un módulo cuya función es facilitar la producción, el ensamblaje de los componentes y el mantenimiento de los mismos.
- Se concluyó que el mejor diseño consiste en un transportador de tornillo sin fin que acarrea los micronutrientes sin ninguna dificultad desde su almacenamiento hasta su dosificación y una báscula de recepción

de dosificados en donde se pese la cantidad requerida en la receta.

- Para conservar las propiedades de los micro-nutrientes el sistema de dosificación está diseñado para construirse en acero inoxidable AISI 304.
- El amplio rango de velocidades con el que se puede controlar el transportador de tornillo sin fin permite obtener una mayor precisión en el momento de la dosificación de micro-nutrientes.
- La selección de la celda de carga a utilizarse siempre debe estar acorde con la capacidad de pesaje estimada, la selección de una celda con una capacidad muy sobredimensionada producirá un menor número de divisiones en el valor del peso y ello conlleva un mayor error en el pesaje.
- El HMI diseñado permite manipular y visualizar el sistema proporcionando un registro de las recetas producidas, las cantidades pesadas, el usuario activo y la hora y fecha de su utilización.
- Se cumple con el objetivo principal que es diseñar y construir un sistema de dosificación de micronutrientes para optimizar el proceso productivo reduciendo en gran medida los errores y minimizando los posibles daños en la salud de los operadores.
- Antes de poner en funcionamiento el sistema se recomienda encerrar el indicador de peso para comenzar la dosificación desde este valor y comprobar la presión de aire para el funcionamiento del cilindro neumático al momento de la descarga de dosificados.
- Una mejora al diseño del sistema dosificador que se propone es la inserción de una válvula de charnela neumática de acción rápida en la salida que impida que el producto se escurra después de parar la dosificación o durante la limpieza del sistema.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] Ebner, P. (2002). Silos. En R. McElhiney, *Tecnología para la Fabricación de Alimentos Balanceados*

- (págs. 201-206). Arlington, VA: American Feed Industry Association, Inc.
- [2] ERGONOMIX. (1 de Septiembre de 2012). *AGROTERRA*. Recuperado el 1 de Octubre de 2012, de <http://www.agroterra.com/p/dosificacin-de-pequeos-ingredientes-3046429/3046429>
- [3] Fairchild, F. J. (2002). Transportadores. En R. McElhiney, *Tecnología para la Fabricación de Alimentos Balanceados*. (págs. 146-176). Arlington, VA: American Feed Industry Association, Inc.
- [4] Garcia, J. (2004). *Fundamentos del Diseño Mecánico*. Cali, Colombia.: Artes Gráficas del Valle.
- [5] Lipson, & Charles. (1970). *Importancia del Desgaste en el Diseño*. Mexico D.F.: Centro Regional de Ayuda Técnica.
- [6] Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos Y Sistemas*. Naulcapan de Juárez: Pearson Education.
- [7] Orthman. (2004). *Screw Conveyor Catalog & Engeneering Manual*. Columbia, MO: CEMA.
- [8] Mott, R. (2006). La Naturaleza del diseño mecánico. En R. Mott, *Diseño de Elementos de Máquinas* (págs. 9-15). Mexico: PEARSON.
- [9] Ray, S. (2008). Conveyors. En S. Ray, *Introduction to Materials Handling* (págs. 114-118). Kolkata: New Age International Publisher.
- [10] Seely, F. (1977). Placas. En F. Seely, *Curso Superior de Resistencia de Materiales* (págs. 220-231). Buenos Aires: Nigar S.R.L.

BIOGRAFÍA.



Franklin Silva. Nació en la Ciudad de Quero, el 22 de Octubre de 1965, sus estudios universitarios los realizó en la Escuela Politécnica Nacional de la Ciudad de Quito en Ecuador, obtuvo el título de Ing. Electrónico con especialidad en Control el año de 1998.

Obtuvo además los siguientes títulos:

Diplomado en Gerencia de Marketing en la universidad UNIANDES en 1999. Especialista en Gerencia de Proyectos en la universidad UNIANDES en el 2000. Magister en Dirección de Empresas con Énfasis en Gerencia Estratégica en la universidad UNIANDES de Ambato en el 2006. Diplomado en Redes Digitales Industriales en la Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga en el 2009.

Se ha desenvuelto en el campo laboral en el área de mantenimiento eléctrico electrónico y de automatización industrial con su propia empresa desde 1990, además por el mismo tiempo ha sido y es hasta la actualidad docente de la Universidad de las fuerzas armadas ESPE, extensión Latacunga, en el Departamento de Eléctrica y Electrónica. Correos electrónicos: fmsilva@espe.edu.ec y framasims@hotmail.com



Andrés Rivera. Nació el 14 de Abril de 1989 en Ambato provincia de Tungurahua en Ecuador. Ganador del Primer Lugar en el V Concurso de Robótica Cotopaxi 2011, en la categoría Programación Industrial. Es graduado de Ingeniero en Mecatrónica de

la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE en el año 2013. Áreas de Interés: Robótica Industrial, Automatización, Diseño de Elementos Mecánicos, Software CAD/CAM. E-mail: andyrive@hotmail.com