

# DISEÑO DE UN DOSIFICADOR SEMIAUTOMÁTICO POR TORNILLO SIN FIN PARA UCHU JACU EN LA ORGANIZACIÓN UNOPAC DE LA PARROQUIA AYORA DEL CANTÓN CAYAMBE.

Sr. Cristian Moya, Ing. Diego Ortiz

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte,  
Ibarra, Ecuador

[cmoyabej@gmail.com](mailto:cmoyabej@gmail.com), [dlortiz@utn.edu.ec](mailto:dlortiz@utn.edu.ec)

## RESUMEN

En el presente artículo se presenta el diseño y construcción de una máquina dosificadora por tornillo sin fin para harina de Uchu Jacu en la organización UNOPAC.

Se detalla el diseño de cada componente del dosificador realizado de forma analítica y exponiendo cada uno de los parámetros más críticos. Los datos obtenidos analíticamente fueron comparados y verificados con la ayuda de Solid Works®, software que proporciona un enfoque geométrico de la máquina. Los datos obtenidos en la fase de diseño sirvieron para la concepción geométrica y la construcción de cada uno de los componentes de la máquina, obteniendo un ensamble correcto y de acuerdo a lo requerido, tanto en la parte mecánica como de control.

Finalmente se ingresaron los parámetros necesarios en el controlador según los requerimientos de dosificación y se procedió a realizar la calibración de todos los componentes hasta llegar a cumplir con la dosificación requerida.

## ABSTRACT

*This article presents the design and construction of a metering screw machine for Uchu Jacu flour in UNOPAC organization.*

*The design of each component of the dispenser done analytically and exposing each of the more critical parameters is detailed. The data obtained was compared analytically and verified with the help of Solid Works, software that provides a geometric approach of the machine. The data obtained in the design phase served to the geometric design and construction of each of the components of the machine, obtaining so a correct and assembly*

*according to the requirements, both mechanical and control part.*

*Finally the necessary parameters are entered in the controller as required dosage and proceeded to perform the calibration of all components down to meet the required dosage.*

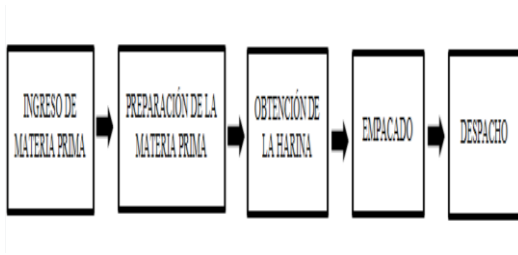
## PALABRAS CLAVES

Dosificador, tornillo sin fin, harina de Uchu Jacu, servo-drive, servo-motor, semiautomático.

## I. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Uchu Jacu (“harina picante” en lenguaje Quechua) es un polvo de seis granos tradicionales de los pueblos indígenas del Cantón Cayambe, al norte de la Provincia de Pichincha. Después de que la receta fue olvidada por años, nuevamente hoy día la harina es producida en los molinos de la organización UNOPAC (entidad no gubernamental de organismos populares en el cantón Cayambe). Aunque aún el producto no es muy conocido en el país, el mismo es bastante popular entre los miembros de las comunidades del sector.

La elaboración del Uchu Jacu es un proceso minucioso, se debe conocer y cumplir con varios procedimientos desde el acopio de materia prima hasta el despacho del producto final con el fin de satisfacer todos los requerimientos de calidad que el mercado actual demanda para un producto alimenticio. En el proceso de la elaboración de la harina de Uchu Jacu intervienen varios subprocesos mostrados, en la figura.1.



**Figura.1:** Proceso de producción del Uchu Jacu

## II. OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Construir una máquina semiautomática para la dosificación mediante tornillo sin fin de Uchu Jacu en la organización UNOPAC de la parroquia Ayora que permita la disminución en la carga de trabajo de la persona encargada de la elaboración de la harina, reduciendo el tiempo de empaque y mejorando la producción

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros de dosificado adecuados para la harina de Uchu Jacu y así desarrollar el diseño del sistema.
- Optimizar el dosificado de la harina de Uchu Jacu buscando un peso estandarizado para toda la producción.
- Comprobar el correcto funcionamiento de todo el sistema de dosificado para que cumpla con los parámetros establecidos en el diseño.
- Realizar el manual de usuario y el manual de mantenimiento de la máquina.

## III. CRITERIOS DE SELECCIÓN Y CÁLCULOS DEL ASPECTO MECÁNICO

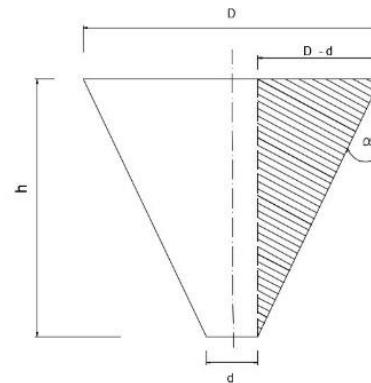
Tomando en cuenta los parámetros ligados a nuestras limitaciones y requerimientos se desarrollan los diseños de cada uno de los elementos de un dosificador por tornillo sin fin, elaborando los modelos necesarios que permitan confirmar el funcionamiento y viabilidad de la máquina.

## DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN

Los diferentes tipos de dosificadores deben contar con un sistema de almacenamiento, el cual recibe el producto de la línea de producción ya sea por una banda transportadora, por un tornillo transportador o de forma manual, con el fin de mantener el producto en su interior hasta su dosificación.

### DISEÑO DE LA TOLVA

Para el sistema de almacenamiento se escogió una tolva de cono truncado con una inclinación  $\alpha=30^\circ$ , debido a que se recomienda las tolvas con sección circular puesto que ejercen una compresión gradual sobre el material mientras que las de sección cuadrada ejercen una compresión poco uniforme.



**Figura 2:** Dimensiones básicas de un cono truncado.

El volumen geométrico de la tolva viene dado por la ecuación 1.

**Ecuación 1:** Volumen geométrico de un cono truncado

$$V = \frac{\pi}{12} h(D^2 + dD + d^2)$$

Las dimensiones que satisfacen los requerimientos de almacenamiento del dosificador obtenidas después de resolver las

ecuaciones que relacionan a una tolva de cono truncado son:

$$D = 72 \text{ cm}$$

$$d = 4,4 \text{ cm}$$

$$h = 60 \text{ cm}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

### CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA TOLVA

Como se dijo anteriormente, los esfuerzos a los que se encuentra sometida la tolva se asemejan a los de una bóveda cónica de paredes delgadas que se representan mediante la ecuación 2

**Ecuación 2: Esfuerzos en un bóveda cónica larga, presión interior uniforme (PISARENKO, YAKOVLEV, & MATVIEEV, 1979)**

$$\sigma_m = \frac{p \cdot x \cdot \tan \alpha}{2t}, \sigma_t = \frac{p \cdot x \cdot \tan \alpha}{t}$$

Remplazando los valores en las ecuaciones se obtiene:

$$\sigma_t = \frac{784,27}{t} Pa$$

$$\sigma_m = \frac{392,14}{t} Pa$$

Para calcular el espesor se utilizará la teoría de esfuerzo cortante máximo representado en la ecuación 3.

**Ecuación 3: Teoría de esfuerzo cortante máximo (Nisbett, 2008)**

$$\sigma_e = \sigma_1 + \sigma_2 \leq S_y$$

$$\frac{784,27}{t} + \frac{392,14}{t} = 276 \times 10^6$$

$$t = 0,00426 \text{ mm}$$

Al estar sometida la tolva a muy bajos esfuerzos, el espesor de la placa resultó prácticamente despreciable, sin embargo se debe considerar un espesor que no comprometa la construcción de la tolva, sobre todo en el proceso de soldadura y barolado, por lo cual se ha escogido para la construcción de la tolva una plancha con espesor de 1,5 mm el cual es de uso comercial.

### SIMULACIÓN DE ESFUERZOS EN LA TOLVA

La figura 3 corrobora lo antes expuesto pues como se observa se tiene un factor de seguridad alto en toda la tolva, esto pues no se encuentra sometida a grandes esfuerzos y por lo tanto el diseño de la tolva es confiable.

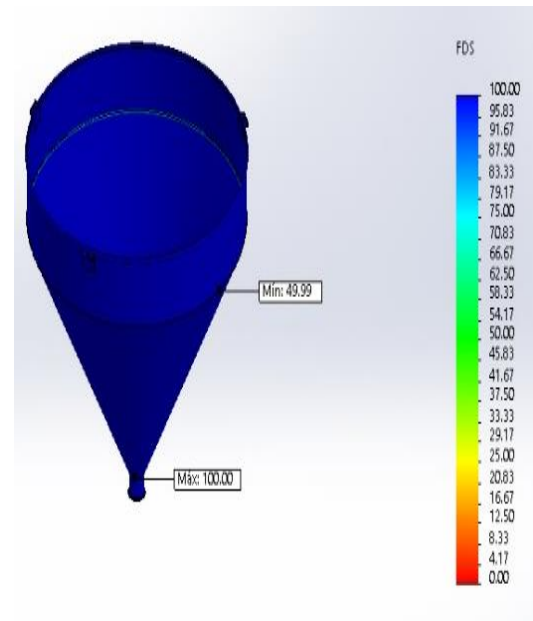


Figura 3: Factor de Seguridad de la Tolva

### DISEÑO DEL SISTEMA DOSIFICADOR DE PRODUCTO

El sistema dosificador se encuentra constituido por un tornillo sin fin acoplado mediante un eje al sistema motor, el cuál hará girar dicho tornillo para que se produzca la dosificación en las cantidades ya predeterminadas.

### TORNILLO SIN FIN

Debido a que el dosificador es de baja capacidad, la solución al problema de diseño del tornillo sin fin fué la recopilación de información acerca de procesos industriales en los cuales intervengan aplicaciones de tornillo sin fin, es así que se encontró que en la industria láctea se los utiliza en el transporte y dosificación de leche en polvo.

Para el sistema dosificador se utilizará una sección de 0,35 cm de diámetro de un tornillo sin fin utilizado como transportador de leche en polvo cuyas dimensiones se ajustan a los requerimientos de dosificación del producto.

Los principales aspectos que se deben tomar en cuenta para el desarrollo de los demás parámetros que intervienen en la dosificación son:

S: Paso del tornillo [cm]

D: Diámetro del tornillo [m]

En este caso el diámetro del tornillo es de 4,4 cm con un paso de 2,2 cm, dimensiones que se acoplan al diámetro inferior de la tolva.

A partir de las dimensiones del tornillo sin fin en adelante se determinarán los demás factores que intervienen en el proceso.

El volumen de llenado de un plano helicoidal de un tornillo sin fin al dar una vuelta completa alrededor del eje viene definido por la ecuación 4.

**Ecuación 4: Volumen de llenado de un plano helicoidal**

$$V_h = \frac{\pi}{4} D^2 S$$

El volumen  $V_h = 33,45 \text{ cm}^3$  es el volumen que el tornillo sin fin dosificará en una vuelta completa alrededor del eje

Relacionando estos volúmenes los cuales cumplen con los requerimientos de dosificación y tomando como referencia un tiempo de dosificación por funda de  $t = 5 \text{ s}$  se puede obtener la velocidad  $n$  [rpm] a la que deberá girar el tornillo sin fin para cumplir los requerimientos de dosificación planteados.

$$n = 300 \text{ rpm}$$

**POTENCIA REQUERIDA**

La potencia requerida para accionar el tornillo sin fin, es la suma de 3 potencias parciales como muestra la ecuación 5.

**Ecuación 5: Potencia necesaria para accionar el tornillo sin fin**

$$P_t = P_H + P_N + P_{St}$$

$P_H$ : Potencia necesaria para el desplazamiento del material.

$P_N$ : Potencia necesaria para el accionamiento del tornillo en vacío.

$P_{St}$ : Potencia necesaria para vencer las resistencias debidas a la inclinación.

Remplazando cada una de las potencias parciales en la ecuación 5, se obtiene la potencia total requerida para accionar el tornillo dosificador.

$$P_{Tornillo} = \frac{Q_m g (C_o L + L)}{3600} + \frac{DL}{20}$$

Obteniendo:

$$P_{Tornillo} = 0,6830 \text{ W}$$

El sistema va a requerir de dos potencias adicionales, la primera debido a que se deberá tomar en cuenta el peso total del sistema dosificador y la segunda será la fuerza de arrastre de la harina aglomerada debido a la implementación de un removedor, el cual contará con dos rascadores, en los cuales se va a ejercer una resistencia sobre la cara frontal.

Es así que la primera potencia adicional se calcula de forma ordinaria, tomando en cuenta tanto la masa de la harina como la masa total de los componentes del sistema dosificador.

$$P = 140,45 \text{ W}$$

La segunda potencia adicional se calculará tomando en cuenta la presión que ejerce la harina sobre la superficie de los rascadores.

$$P = 287,58 \text{ W}$$

Finalmente se el torque y la potencia total necesaria para accionar todo el sistema dosificador sumando las tres potencias antes expuestas.

$$T_t = 16,04 \text{ Nm}$$

$$P_t = 428,71 \text{ W}$$

## DISEÑO DEL EJE

Para el diseño del eje se toma en cuenta el elemento de sujeción, el cual genera una carga axial, el torque producido por el servo motor, y además el peso distribuido uniformemente a lo largo del mismo eje. Por lo que el eje dosificador será considerado como una viga apoyada en uno de sus extremos con las tres cargas antes descritas.

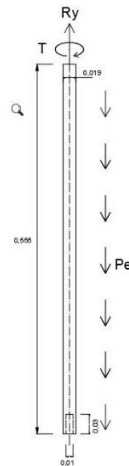


Figura 4: Diagrama cuerpo libre del eje

La reacción provocada por el elemento de sujeción va a tener poco o ningún efecto sobre el potencial de falla de nuestro eje, por lo que se determina que el eje del dosificador está sometido únicamente a torsión y en este caso el esfuerzo cortante por torsión es casi uniforme y servirá para determinar el diámetro mínimo de eje a considerar para el sistema.

En caso del eje del mezclador no se aplicará fuerzas transversales que provoquen flexión, quedando la ecuación para el cálculo del diámetro mínimo:

**Ecuación 6: Diámetro del eje del mezclador**  
(Mott, 2006)

$$D_e = \sqrt[3]{\frac{32FS}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left[ \frac{T}{S_y} \right]^2}}$$

Remplazando valores con FS igual a 2 utilizado en diseños típicos de ejes donde hay una confianza promedio en los datos de resistencia del material y en las cargas. (Mott, 2006)

$$D_e = 0,01030 \text{ m}$$

Se concluye que se debe emplear un eje con un diámetro mayor a 10 mm, ya que en el mercado no se encuentra barras redondas de acero inoxidable de estas dimensiones se escogerá una barra redonda comercial, en este caso de 19 mm, para el eje del sistema dosificador.

## SIMULACIÓN DEL EJE

La figura 5 muestra el factor de seguridad en todos los elementos del sistema dosificador al estar sometido a las cargas antes descritas, pese que el factor de seguridad mínimo es de 2,17 se mantiene por encima de los valores en los cuales se produciría la ruptura.

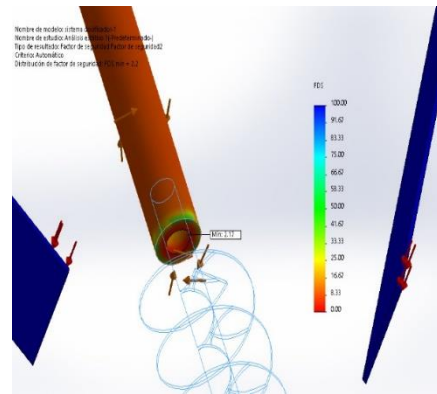


Figura 5: Factor de seguridad en el sistema dosificador

## IV. SELECCIÓN DE ACTUADORES

Una vez seleccionado y diseñado el sistema más adecuado para la dosificación del producto y obtenida la potencia y el torque necesario para el funcionamiento del sistema, es necesario seleccionar una gran variedad de actuadores.

Se tomó la decisión de utilizar servomotores debido a que brindan mayor precisión en el control de movimiento frente a otros tipos de motores, obteniendo un margen menor de error al momento de la dosificación.

Se ha seleccionado los servomotores de la marca *SureServo* ya que ofrecen potencias mayores a las requeridas, además son robustos de uso industrial, con dimensiones y peso adecuados, se acoplan a los demás componentes del sistema y cuentan con un *encoder* muy preciso con una lectura de 10 000 pulsos por segundo, se ha escogido el servomotor de marca *SureServo* modelo SVL-207B el cual presenta las características mostradas en la tabla IV.1.

**Tabla 1: Características Servo Motor SVL-207B**

Servomotor	$W_{max}$ [w]	$\tau_{no}$ [N.m]	$\tau_{max}$ [N.m]	$\omega$ [rpm]
<b>SVL-207B</b>	750	2.39	7.16	3 000

Como se observa en la tabla 1 el servomotor escogido cumple con los requerimientos de potencia, pero al ser de baja inercia ofrece un torque menor al requerido, por lo cual, la solución lógica con respecto al torque sería escoger un servomotor de media inercia de la misma marca, pero por cuestiones de costos se decide acoplar al servomotor un reductor el cual permitirá un mayor torque a un mínimo costo.

Se analizó varias propuestas de reductores de diversas marcas tomando en cuenta los requerimientos del sistema, robustez y costo, de las cuales se seleccionó un moto reductor *Motive* sin fin-corona con las siguientes características:

**Tabla 2: Características Moto Reductor BOX050**

Moto reductor	$P$ [w]	$\tau_2$ [N.m]	$n_2$ [rpm]	$f_s$	$i$
<b>BOX050</b>	750	17,1	373,3	3	7,5

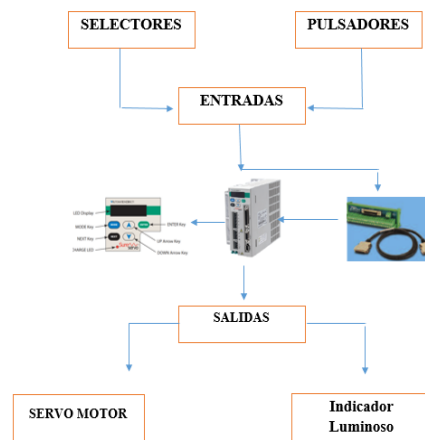
La tabla IV.2 muestra que el reductor escogido cumple con los requerimientos de torque y velocidad de salida necesarios para realizar una correcta dosificación.

## V. CONTROL DEL SISTEMA

El diseño del sistema de control se lo ha realizado en función de los requerimientos de automatización

de la máquina, es así que para el sistema de dosificación por tornillo sin fin las variables a controlar son: el tiempo de dosificación y el número de vueltas del sistema dosificador parámetros proporcionados por el sistema reductor-servomotor.

Se ha escogido como sistema motriz un reductor acoplado a un servo motor de la marca *SureServo* modelo SVL-207B. El control de la máquina será semiautomático por lo que una persona será la encargada de activar los componentes para producir la dosificación mediante un pedal que enviará la señal al Servo Drive mediante el cual activará el conjunto servo motor-reductor como se detalla en la figura 7.



**Figura.2: Diagrama de bloque del sistema dosificador**

## VI. PRUEBAS DE CALIBRACIÓN DE LOS SISTEMAS IMPLEMENTADOS

Con el fin de conocer la precisión que tiene el dosificador, obteniendo el error al momento de la dosificación se procede a realizar diferentes medidas para una velocidad constante del servo drive de 800 rpm para 250 rev como muestra la tabla 4.

**Tabla 4 Mediciones de dosificación para velocidad constante de 800 rpm y 250 revoluciones**

MEDICIONES PARA REVOLUCION CONSTANTE DEL SERVO MOTOR				
MUESTRA	MASA MEDIDA (g)	TIEMPO DE DESCARGA (s)	$\sum_{k=0}^n (x_k - \bar{x})^2$	ERROR %
1	450	20,6	0,04	0

2	447	21,2	7,84	0,7
3	446	20,9	14,44	0,9
4	450	21,2	0,04	0
5	452	20,3	4,84	0,4
6	447	20	0,64	0,2
7	453	22,2	10,24	0,7
8	449	20	0,64	0,2
9	450	20,2	0,04	0
10	454	21,8	17,64	0,9
<b>TOTAL</b>	<b>4498</b>	<b>208,4</b>	<b>56,4</b>	

Con los datos obtenidos en la tabla 4 se podrá obtener la media aritmética, dato que indica el peso promedio de fundas elaboradas.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{k=0}^n x_k}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{4498}{10} = 449,8 \text{ g}$$

Como se observa el valor promedio del peso es de 449,8 g el cual es un valor aceptable.

Para tener una visión más acertada sobre la cantidad de dosificación se debe calcular la desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=0}^n (x_k - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{56,4}{9}} = \pm 2,5 \text{ g}$$

Además del peso, uno de los parámetros para la dosificación es el tiempo, es así que se procederá a sacar la media aritmética de los tiempos obtenidos para cada muestra.

$$\bar{t} = \frac{\sum_{k=0}^n t_k}{n}$$

$$\bar{t} = \frac{208,4}{10} = 20,8 \text{ s}$$

Con los datos obtenidos se concluye que el promedio

del peso por funda es de 449,8 g con una tendencia a subir y bajar de 2,5 g en un tiempo de dosificado promedio de 20,8 s.

De lo anterior se observa que el dosificador por tornillo sin fin entra en un rango aceptable de dosificación planteado al inicio del presente proyecto, el cual es de una dosificación de 450 g con error de  $\pm 1$ , debido a las características del producto y puesto que se acopló un reductor, se debió reducir la velocidad teórica para el giro del sistema dosificador con un tiempo de dosificado será mayor al planteado  $t = 20,8 \text{ s}$ , tiempo el cual cumple con los objetivos planteados de reducir el tiempo actual de dosificación.

## VII. CONCLUSIONES

- Luego de haber analizado cuidadosamente cada opción de los diferentes sistemas dosificadores, se determinó que un sistema de dosificación de tornillo helicoidal vertical, es el más idóneo para el proceso.
- Se utilizó acero inoxidable AISI 304 para cada componente de la máquina, material que cumple con los requerimientos de resistencia para las fuerzas aplicadas al sistema, además de satisfacer las normas alimentarias al ser un material de uso sanitario.
- La simulación de las piezas se realizó en Solid Works 2014 el cual permitió corroborar los resultados obtenidos en el diseño convencional de los componentes principales del dosificador, dando viabilidad al diseño y construcción,
- Mediante las pruebas realizadas se pudo corregir errores o falencias presentadas en la máquina dosificadora, hasta alcanzar una dosificación con porcentaje de error de  $\pm 1\%$  requerido.
- El tornillo sin fin utilizado se ajustó a los requerimientos del dosificador y a las características físicas de la harina de Uchu Jacu, incurriendo directamente en el costo del dosificador, frente a un tornillo sin fin diseñado exclusivamente para harina de Uchu Jacu, debido a la dificultad y utilización de maquinaria especializada para su construcción.
- El tiempo de dosificación planteado no se logró alcanzar, debido a la implementación

de un moto reductor, pese a esto el tiempo promedio de dosificación cumple con el objetivo de reducir el tiempo de dosificación actual que se lo realiza de forma manual.

- Después de haber realizado las pruebas correspondientes al funcionamiento de la máquina dosificadora, se realizó el manual de usuario y mantenimiento, para su correcto funcionamiento y garantizando una larga vida útil del dosificador.

## VIII. RECOMENDACIONES

- Realizar el mantenimiento de la máquina dosificadora por tornillo sin fin en los tiempos establecidos en el manual de usuario para evitar desperfectos mayores a largo plazo.
- Se recomienda leer el manual de usuario antes de operar la máquina dosificadora para evitar accidentes y contratiempos.
- En caso de cualquier desperfecto en la máquina dosificadora por tornillo sin fin se recomienda buscar asistencia técnica capacitada.
- Es recomendable verificar todas las conexiones durante y después de cada prueba que se le realice a la máquina, además de revisar a fondo los manuales de cada componente de la máquina.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

Acrison. (2013). *www.acrison.com*. Obtenido de <http://www.acrison.com/jet-s.htm>

Budinas R., N. J. (2008). *Diseño en ingeniería Mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill/Interamericana.

Carlosama, R. (2013). *Máquina vibradora para fabricar postes de hormigón armado para alambrado perimetral*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Carrera de Ingeniería en Mecatrónica.

CENDI, C. N. (2012). *iminox*. Obtenido de <http://www.iminox.org.mx/pdf/manual1.pdf>

Erazo, p. V. (2011). *Diseño y construcción de una mezcladora industrial para la elaboración de vino de frutas con capacidad de 2000 litros*. Quito: Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica.

Faires, V. M. (2001). *Diseño de Elementos de Máquinas*.

Goodfellow. (2013). *Aceros Inoxidables*. disponible en < <http://www.goodfellow.com/S/Acero-Inoxidable-AISI-304.html> >.

IBARRA, M., NÚÑEZ, E., & HUERTA, J. (s.f.). *INDURA*. Obtenido de [http://www.indura.cl/\\_file/file\\_1774\\_manualdeacerosinoxidables%20indura.pdf](http://www.indura.cl/_file/file_1774_manualdeacerosinoxidables%20indura.pdf)

Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson Educación.

Optibelt. (2012). *Manual Técnico Industrial*. Obtenido de <http://www.lacasadelascorreas.com.uy/pdf/atecnica/manual%20tecnico%20industria l.pdf>

Perry, R. H. (1994). *Manual del Ingeniero Químico*. México: Mc. Graw-. Hill.

PINTO, C. y. (2006). *Diseño, modelamiento y simulación de maquina dosificadora de alimento granulado para animales. Trabajo de grado (Ingeniero de Diseño y Automatización Electrónica)*. Bogotá D.C., Colombia: Universidad de la Salle.

### Páginas web:

Coperion K-Tron, (2014), Empresa fabricante de dosificadores, página disponible en: <http://www.ktron.es/App/User/Login/?goTo=/App/Products/DisplayProduct.cfm?productid=533&CFID=7772432&CFTOKEN=43808681>.