

Diseño de una Línea de Producción de Fertilizantes Pulverizados usando Molino de Pines

Anell Isabel Borbor Hidalgo (1), Alex Geovanny Crespo Ordóñez (2), Ernesto Martínez Lozano (3)
Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (1), (2), (3)
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
anell_ef@hotmail.com ⁽¹⁾
alexgyo_00@hotmail.com ⁽²⁾
Ing. Mecánico, Profesor FIMCP-ESPOL, emartine@gu.pro.ec ⁽³⁾

Resumen

El estudio presente trata sobre la implementación de un equipo pulverizador dentro de una línea de producción de mezcla de fertilizantes inorgánicos NPK de aproximadamente 2 ton/h en una pequeña empresa de la ciudad de Guayaquil. Para el efecto, se realizó el diseño del Molino Pulverizador de Pines, se describe la selección de los principales elementos que lo componen: pines, discos rotor y estator; para posteriormente establecer su estructura externa, los resultados obtenidos muestran un diseño funcional, cumpliendo la necesidad de transformar las mezclas de fertilizantes en polvo, con las características adecuadas para su posterior aplicación en los cultivos mediante las técnicas de fertirriego y aplicación foliar a un costo competitivo, el cual resultó menor referente al mercado internacional, destacando como una mejor opción en cuanto a tecnología, seguridad y funcionalidad. Demostrando que la técnica de la molienda es la que permite hoy en día obtener productos finamente pulverizados.

Palabras Claves: *Diseño, fertilizantes inorgánicos NPK, Molino Pulverizador de Pines.*

Abstract

The present study of this project is the implementation of a pulverizer equipment in a production line of inorganic NPK fertilizer mixture about 2 ton/h in a small business in the city of Guayaquil. For this purpose, was designed the Pin Mill, is described the selection of the main component parts: pins, disc rotor and stator, to further establish its external structure, the results show a functional design fulfilling the requirement to transform the powder mixtures of fertilizers with the right features for subsequent application to crops through the techniques of fertigation and foliar application at a competitive cost, which was lower concerning the international market, emerging as a better option in technology, security and functionality. Denoting the technique of grinding is that now allows obtaining finely powdered products.

Keywords: *Design, inorganic fertilizer NPK, Pin Mill.*

1. Introducción

En el Ecuador cuya segunda principal fuente de ingreso económico es la agricultura, el uso de fertilizantes se ha vuelto indispensable debido a la baja fertilidad de la mayoría de los suelos para los altos rendimientos y la buena calidad que se esperan en la actualidad. Por lo cual el uso de fertilizantes en los cultivos es indispensable para mantener una agricultura sostenible. Estos en su mayoría son aplicables directamente al suelo asimilando los nutrientes por las raíces, sin embargo cuando las condiciones de absorción de los nutrientes presentan adversidades o deficiencias, la aplicación por vía radicular es limitada en tiempo y forma, es por ello que surgen nuevos métodos de aplicación confiables, tanto para satisfacer las reales necesidades nutricionales de las plantas como para la fertilización en estos periodos críticos. Gracias a la existencia de técnicas como la fertirrigación y aplicación foliar es posible suministrar los nutrientes y micronutrientes requeridos por los diversos tipos de cultivos y lograr controlar su desarrollo. Es por ello que se enfoca el principal interés en el diseño del molino pulverizador de pines, con el cual se espera obtener un producto final capaz de cumplir con la granulometría que se requiere para ser soluble y aplicable.

2. Generalidades

Se ha considerado tradicionalmente que la forma de nutrición para las plantas es a través del suelo, de donde las raíces absorberán el agua y los nutrientes necesarios. Los fertilizantes en su mayoría se presentan en forma granular por una razón específica, se trata de que el gránulo se vaya disolviendo paulatinamente para que la planta lo vaya absorbiendo de acuerdo a sus necesidades y no bruscamente pues esto traería como consecuencia un alto desperdicio del producto y el riesgo de “quemar” las raíces provocando con esto la muerte de la planta. Sin embargo la fertilización radicular no permite proporcionar a las plantas sus reales necesidades nutricionales, lo que conlleva a la aplicación de nuevas técnicas como: la fertirrigación y aplicación foliar que complementan los requerimientos de los cultivos. La cantidad y la regulación de la absorción dependen de varios factores, tales como la variedad del cultivo, la fecha de siembra, la rotación de cultivos, las condiciones del suelo y del tiempo.

Fertirrigación [1]

Fertirrigación o fertigación, son los términos para describir el proceso por el cual los fertilizantes son aplicados junto con el agua de riego. Este método es un componente de los modernos sistemas de riego a presión como; aspersión, microaspersión, pivote central, goteo, exudación, etc. Con esta técnica, se puede controlar fácilmente la parcialización, la dosis, la concentración y la relación de fertilizante.

Aplicación foliar [1]

La fertilización foliar consiste en la aplicación de una solución nutritiva al follaje de las plantas, con el fin de complementar la fertilización realizada al suelo, o bien, para corregir deficiencias específicas en el mismo periodo de desarrollo del cultivo. Mediante la aplicación foliar se superan las limitaciones de la fertilización del suelo tales como la lixiviación, la precipitación de fertilizantes insolubles, el antagonismo entre determinados nutrientes, los suelos heterogéneos que son inadecuados para dosificaciones bajas, y las reacciones de fijación/absorción como en el caso del fósforo y el potasio.

Granulometría

El término granulometría se refiere al tamaño de las partículas o gránulos del fertilizante y su proporción en el volumen total del mismo. Este influye en la fijación, solubilidad y eficiencia de fertilizante en el suelo.

Cabe indicar que para las técnicas de fertilización descritas anteriormente se requiere que el producto final presente una granulometría entre 0,1 y 0,15 mm.

3. Molino de pines

El molino pulverizador de pines está constituido por una cámara de trituración. Esta cámara está atravesada por un eje que gira a gran velocidad y sobre el cual van fijados unos discos especiales que contienen los pines, basa su principio de operación en la molienda por impacto en la que el material se ve sometido a secuenciales colisiones debido a las altas fuerzas centrífugas y recorridos muy estrechos entre los discos de pines dentro de la cámara. Estos pines son posicionados en filas de tal manera que forman círculos concéntricos. Muchos de estos círculos concéntricos de pines son colocados en un disco rotor. Este disco rotor de pines es adicionalmente enlazado con un segundo disco estator. Al alcanzar la periferia el producto es seleccionado por un tamiz que determinará el tamaño relativo de las partículas.

El logro de la deseada estrecha distribución de tamaño de partícula se obtiene mediante el control de la velocidad del rotor. La variación de la velocidad del rotor entre unos pocos cientos de rpm hasta 5400 rpm proporciona la flexibilidad para utilizar la máquina

como una molienda gruesa o unidad de aglomerantes, así como un molino de molienda fina o pulverizador.

Lo que comprende el cuerpo, se fabrica en acero al carbón terminado en pintura epóxica sanitaria, en acero inoxidable tipo 304 o en aluminio según la necesidad. Los pines son fabricados de acero inoxidable tipo 304 sometido a temple y revenido para elevar su propiedad de dureza. El disco rotor y estator es de acero inoxidable al igual que el tamiz.

Debido a las variantes e intercambiabilidad de sus piezas interiores: disco rotor, disco estator, pines, tamiz tiene alta adaptabilidad a la producción y sus aplicaciones, desde materiales granulares hasta partículas súper finas. La cubierta de la cámara de los discos de pines se articula lo que significa que todos los componentes en contacto con el material abrasivo se pueden acceder fácilmente y limpiarse para el mantenimiento o las reparaciones necesarias.

3.1 Diseño de forma del molino

- 1 Tolva de carga
- 2 Tolva de descarga
- 3 Carcasa
- 4 Compuerta
- 5 Disco rotor y disco estator
- 6 Pines
- 7 Criba
- 8 Motor

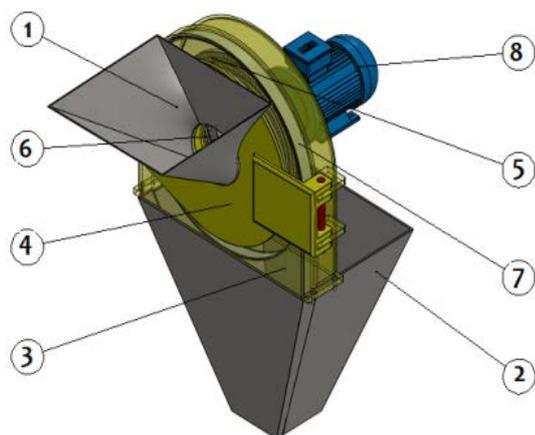


Figura 1. Diseño de forma del molino de pines

3.2 Distribución de los pines

Para determinar el número aproximado de granos que se deberán triturar por segundo para cumplir la capacidad requerida de molienda es necesario conocer la masa de alimentación de un grano. Según mediciones realizadas se pudo determinar que el tamaño de los granos de fertilizante varía con valores de diámetros (d_g) 2 a 4 (mm), y con una longitud promedio (l_f) igual a 3 mm.

Por la forma del granulo de fertilizante se asume como si se tratara de un cilindro, por lo tanto se utiliza la siguiente ecuación para hallar el volumen de grano V_g :

$$V_g = \frac{\pi * d_g^2 * l_f}{4}$$

$$V_g = 2,1 * 10^{-8} m^3$$

La masa de alimentación se determina con la ecuación:

$$M_g = \rho * V_g$$

Donde:

ρ =Densidad promedio del fertilizante, 1007 kg/m³.

$$M_g = 2,1 * 10^{-5} Kg$$

Por lo tanto se obtiene el número de granos a ser molidos:

$$N_g = \frac{Q}{M_g}$$

$$N_g = 26016 \frac{\text{granos}}{s}$$

Se considera que el valor recomendado para la velocidad angular de un molino de pines oscila entre las 3000 y 3500 [rpm], y no se requiere trabajar al límite de revoluciones, además de que el trabajo del motor será continuo se ha escogido el valor de 3500 [rpm].

Si se divide el número de granos por segundo que se necesita triturar, para las 3500 [rpm] escogidas, se obtiene aproximadamente el número de granos que se deberán partir por cada revolución del eje del motor, es decir, mediante la ecuación:

$$N_t = \frac{N_g}{\omega_r}$$

$$N_t = 480 \text{ granos/rev}$$

Ahora, si son 480 granos que se deben triturar por cada revolución, y se supone que cada pin del molino golpeará al menos un grano, se tiene que el molino tendrá aproximadamente 480 pines distribuidos en ambos platos del molino.

3.3 Diseño de los pines para la trituración del grano [2,3]

El diseño de los pines es fundamental en el molino, ya que estas piezas son las que producen la fractura de los granos de fertilizante al momento del choque entre ambos.

La representación de este choque se la puede observar en la figura 2 a continuación:

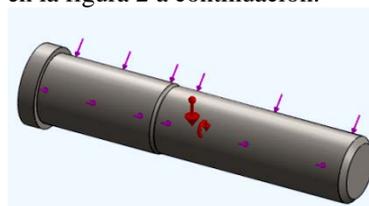


Figura 2. Impacto de granos en pin

Se observan tres fuerzas producidas cuando el disco porta pines se encuentra rotando: una fuerza

distribuida mayoritariamente de forma lateral a lo largo del mismo debido al impacto del grano en este. La fuerza centrífuga y la fuerza de gravedad.

La longitud de trabajo en cada pin es igual a $\frac{3}{4}$ de la longitud total. Los esfuerzos a los que está sometido el pin son de flexión en dos planos, se los presenta en una forma combinada.

Esfuerzo flexionante máximo de una sección transversal circular:

$$\sigma = \frac{32}{\pi d^3} (M_y^2 + M_z^2)^{1/2}$$

Para establecer la condición más crítica, al impactar el mayor número de sobre un pin se realiza el siguiente análisis:

Área de grano:

$$A_{\text{grano}} = 7,07 \text{ mm}^2$$

Área lateral del pin:

$$A_{\text{lateral del pin}} = 540 \text{ mm}^2$$

Número de granos:

$$\# \text{granos} = \frac{A_{\text{lateral del pin}}}{A_{\text{grano}}}$$

$$\# \text{granos} = 76 \text{ granos}$$

Tabla 1. Typical crushing strength values (ranges) of some common fertilizer. [1]

FERTILIZER		
Type	Grade	Crushing Strength (kg/granule)
Prilled Urea	46-0-0	0.8-1.2
Granular Urea	46-0-0	1.5-3.5
Granular Ammonium Sulfate	21-0-0	1.5-2.5
Prilled Ammonium Nitrate	34-0-0	1.2-1.7
Granular Diammonium Phosphate	18-46-0	3.0-5.0
Granular Monoammonium Phosphate	11-55-0	2.0-3.0
Granular Triple Superphosphate (Steam Granulation)	0-46-0	1.5-3.0
Prilled Potassium Chloride	13-0-44	1.5-2.0
Granular Potassium Chloride	0-0-60	3.5-5.0
Granular Potassium Sulfate	0-0-50	3.0-4.0

Se tomó al cloruro de potasio granular (MOP), fuente de fertilización de Potasio (K) más usada en el mundo, como el material sobre el cual se valida el diseño del molino pulverizador, pues este requiere de la mayor fuerza de impacto para triturarse, por lo tanto el análisis es el siguiente:

Un grano de MOP requiere de 5N para destruirse. Entonces para el caso más crítico en el que impacten 76 granos sobre la superficie del pin se requerirá una fuerza de 380N para destruir el material, por lo tanto la

fuerza distribuida a lo largo del pin será igual a 8444,44N/m.

3.4 Diseño de los discos portapines

Con el diseño preliminar de los pines que se planteó en la sección anterior, se establece que el primer disco porta pines (rotor) soportará 260 pines, mientras el segundo disco (estator) 240 pines.

Una vez establecida el área de impacto que tienen los pines, existe $\frac{1}{4}$ parte de su longitud, la cual debe estar firmemente ajustada en ambos discos portapines. Por lo tanto el espesor de los discos debe ser capaz de sujetar al pin y soportar el esfuerzo al cual están sometidos estos.

En cada agujero del disco habrá una tracción por consecuencia de las fuerzas centrífugas de los pines, por lo que en cada agujero se tendrá una fuerza equivalente a dos fuerzas centrífugas de un pin.

Se aplica el siguiente criterio de falla por cortante:

$$n = \frac{S_y}{2\tau}$$

Tomando en cuenta la consideración antes mencionada, el esfuerzo se define como:

$$\tau = \frac{2F_{cf}}{A_d}$$

Descomponiendo A_d se tiene:

$$\tau = \frac{2F_{cf}}{2 * e * d_1}$$

Despejando e se obtiene la siguiente ecuación:

$$e = \frac{F_{cf} * n * 2}{d_1 * S_y}$$

Se estableció como factor de seguridad $n=16$ debido a las altas revoluciones a las que gira el disco. Por lo tanto, reemplazando los valores, se tiene que el espesor mínimo del disco es igual a:

$$e = 0.015 \text{ m}$$

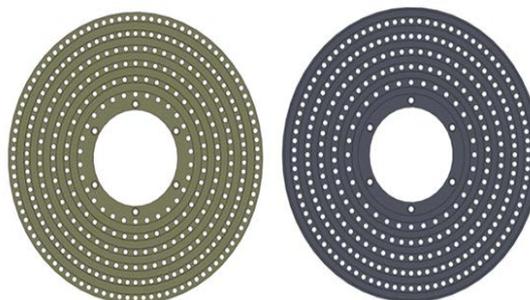


Figura 3. Distribución de pines en discos rotor y estator

4. Presupuesto para construcción del Molino de Pines

4.1 Costos materiales

Material Requerido	Especificaciones	Cantidad (Global)	Costo Total (dólares)
Lamina de acero inoxidable	6x1220x2240 mm	2	1296,00
Lamina de acero inoxidable	10x1220x2240 mm	1	1130,40
Lamina de acero inoxidable	20x1220x2240 mm	1	2100,00
Barra redonda de acero inoxidable	φ=20 mm	5	431,40
Perno-Tuerca-Arandela Plana Estato	φ=16x40 mm	6	11,40
Perno-Tuerca Arandela Plana Base Carcasa	φ=16x40 mm	4	7,60
Tuerca De Compuerta	φ=20 mm	3	7,29
Eje acero de transmisión	φ=40 mm	1	20,00
Chumacera Autoalineables GMC	φ=40 mm	2	74,14
Cauchos aisladores	Bases	1	12,00
Criba de acero inoxidable	φ=500 mm	1	92,50
Motor eléctrico	Siemens 30 Hp	1	1466,64
Sistema de control eléctrico	-	1	600,00
Acople flexible	φ=40 mm	1	256,18
Perno Base motor	φ=20x35 mm	4	18,40
Arandela Plana	φ=20 mm	4	0,80
Arandela de presión	φ=20 mm	4	2,68
Angulo L ASTM A36	50x50x6 mm	6	195,66
Pintura Base	Anticorrosivo	1	45,30
Pintura Final	Poliuretano	1	25,00
Perno de anclaje base estructura	φ=20 mm	8	32,00
TOTAL			7825,39

Figura 4. Costos de Materiales

4.2 Peso de los elementos del molino de pines

N	Piezas	Detalle	Cantidad (kg)
1	Tolva Alimentacion	Soldadura y Corte	24,00
2	Tolva Descarga	Soldadura y Corte	56,00
3	Disco Rotor	Corte-Fresado	35,00
4	Disco Estator	Corte-Fresado	35,00
5	Carcasa	Corte-Plegado	82,50
6	Compuerta	Soldadura y Corte	88,60
7	Pines	Corte-Torneado	24,00
8	Estructura Base Motor	Soldadura y Corte	200,00
9	Estructura Base Molino	Soldadura y Corte	710,00
10	Manija de puerta	Corte-Doblado	2,00
11	Brida soporte eje-rotor	Soldadura y Corte	9,00
TOTAL			1266,10

Figura 5. Pesos de los elementos

4.3 Costo Equipos

COSTOS EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	TAREA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO X KILOGRAMO	COSTO X KILOGRAMO
		A	B	C=A*B	R	D=C*R
Máquina de Soldar	Sujeción de elementos	1	0,60	0,50	0,05	0,03
Cortadora-Dobladora	Piezas de ensamble	1	0,50	0,50	0,03	0,02
Fresadora	Agujeros del disco rotor y estator	1	0,50	0,50	0,10	0,05
Torno	Maquinado de pines	1	0,50	0,50	0,10	0,05
TOTAL						0,14

COSTO EQUIPOS=0,14*1266,1=180,28

Figura 6. Costos de equipos

4.4 Costos mano de obra

COSTOS MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	TAREA	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO X KILOGRAMO	COSTO X KILOGRAMO
(CATEGORIAS)		A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro soldador	Tolva de alimentación y descarga, compuerta, carcasa, manija, estructuras en general	2,00	2,70	5,40	0,05	0,27
Ayudante	Ensamble	2,00	2,58	5,16	0,05	0,26
Fresador	Agujeros del disco rotor y estator	1,00	2,70	2,70	0,10	0,27
Tornero	Maquinado de Pines	1,00	2,70	2,70	0,10	0,27
Pintor	Estructura base	1,00	2,70	2,70	0,05	0,14
Eléctico	Instalación de Motor	1,00	2,58	2,58	0,08	0,21
TOTAL						1,41

COSTO EQUIPOS=1,41*1266,1=1785,20

Figura 7. Costos mano de obra

4.5 Costos transporte

COSTOS TRANSPORTE		
Denominación	Costo flete (dólares)	Valor Contratado (dólares)
Transporte maquinas al taller	100,00	100,00
Transporte de material	100,00	100,00
TOTAL		200,00

Figura 8. Costos transporte

4.6 Presupuesto total

El total de la construcción del Molino pulverizador de pines para la fábrica productora de fertilizantes asciende a \$11789,23 (ONCE MIL CIENTO SETECIENTOS OCHENTA Y NUEVE DÓLARES CON VEINTE Y TRES CENTAVOS). Tendrá una duración aproximada de 22 días laborables.

5. Conclusiones y recomendaciones

Se recomienda lo siguiente:

1. Los materiales necesarios para la construcción del molino pulverizador de pines se encuentran disponibles en el mercado nacional, así como también existe mano de obra y profesionales capacitados y competentes para desarrollar este tipo de proyectos. Contribuyendo de esta manera, a la disminución de la salida de divisas en el Ecuador.
2. Este proyecto representa un impulso al desarrollo de las industrias dedicadas a la mezcla de fertilizantes inorgánicos, fomentando una competitividad que equilibre la alta demanda de calidad y cantidad de nutrientes para el suelo, en un país donde la agricultura es una de sus principales fuentes de ingreso económico.
3. Si se requiere aumentar la producción se puede aumentar los RPM de la maquina, esto se puede lograr debido al factor de seguridad con el que han sido diseñados los elementos del molino.

Se recomienda lo siguiente:

1. Se recomienda realizar la fabricación del molino pulverizador de pines con la finalidad de validar los resultados teóricos obtenidos.
2. Se proyecta la posibilidad de una alterna utilización del molino de pines para implementarlo en una línea de producción cuyo producto final sea polvo, considerando que si se trata de un grado alimenticio los materiales para su construcción deberán ser de acero inoxidable.
3. Se deberá reemplazar en su totalidad los pines del molino pulverizador cuando estos presenten un desgaste del 15% en su diámetro inicial, caso contrario provocaría un desbalance en la maquina con daños irreparables. De esta forma se mantendrá la productividad y rendimiento del molino.

6. Bibliografía

[1] Fertilizer Manual, UNIDO-IFDC, 3rd Edition, Kluwer Academic Publishers.

[2] Joseph E. Shigley Y Charles R. Mischke, Diseño En Ingeniería Mecánica, 6ta Edición, Mcgraw-Hill, México 2002.

[3] SINGER PYTEL, Resistencia de materiales, México.