



Ecuador – diciembre 2017 - ISSN: 1696-8352

DISEÑO DE UN PROTOTIPO SEPARADOR DE METALES CONTAMINANTES EN EL SUELO MEDIANTE UN SISTEMA ELECTROMAGNÉTICO.

Doris Lisbeth Mosquera Guanoluisa,

dmosquera@esPOCH.edu.ec

Docente Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Gloria Elizabeth Miño Cascante,

gloriamino@yahoo.es

Docente Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Adonías Patricio López López

patric.lopez@hotmail.com

Docente Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Jaime Iván Acosta Velarde,

ivan74acosta@yahoo.es.

Docente Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Tarquino Edgar Machado,

edgar.machado@esPOCH.edu.ec

Docente Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Doris Lisbeth Mosquera Guanoluisa, Gloria Elizabeth Miño Cascante, Adonías Patricio López López, Jaime Iván Acosta Velarde y Tarquino Edgar Machado (2017): "Diseño de un prototipo separador de metales contaminantes en el suelo mediante un sistema electromagnético.", Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, Ecuador, (diciembre 2017). En línea:
<http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ec/2017/separador-metales-contaminantes.html>

Resumen

En los últimos años la contaminación ambiental en especial la contaminación de los suelos debido a la cantidad de metales que contiene ha tenido un incremento significativo que en gran parte provienen de desechos sólidos, líquidos a causa de la actividades minero metalúrgicas o del reciclaje de otros materiales y desechos provenientes de las grandes industrias que incluyen procesos geológicos como son las aguas ácidas. Todos estos desechos metálicos han venido acumulándose a lo largo del tiempo causando daños en el ecosistema, ya que se genera una erosión de los suelos que afecta el crecimiento de la vegetación y sostenibilidad principalmente en el campo agrícola.

Se desarrolló un dispositivo prototipo a través de un sistema electromagnético cuya finalidad es separar metales de los minerales que se encuentran en el suelo. Este dispositivo al tener contacto con materiales sólidos o líquidos atrae a los metales reduciendo la cantidad de los mismos aproximadamente en un 80%. De esta manera se contribuye con el mejoramiento y conservación de los suelos.

Por lo tanto se espera a través de este prototipo controlar la cantidad de metales que la mayoría de los suelos así como agua residuales contienen, ya que hoy en día es de gran importancia utilizar los campos agrícolas de una manera sostenible y que permiten obtener productos de alta calidad que sean amigables con el medio ambiente.

Summary

In recent years, environmental pollution, especially the contamination of soils due to the amount of metals it contains, has had a significant increase, largely due to solid, liquid waste due to metallurgical mining activities or the recycling of other materials and waste from large industries that include geological processes such as acid waters. All these metallic debris have been accumulated over time causing damage to the ecosystem, as it generates soil erosion that affects the growth of vegetation and sustainability mainly in the agricultural field.

A prototype device was developed through an electromagnetic system whose purpose is to separate metals from minerals found in the soil. This device to have contact with solid or liquid materials attracts metals by reducing the amount of them by about 80%. In this way it contributes to the improvement and conservation of the soil.

Therefore, it is expected through this prototype to control the amount of metals that most soils as well as residual water contain, since nowadays it is of great importance to use agricultural fields in a sustainable way and that allow to obtain products from high quality that are friendly to the environment.

Palabras claves

Contaminación, metales, sistema electromagnético, sostenibilidad, prototipo, desechos sólidos, aguas ácidas, minerales

Keywords

Pollution, metals, electromagnetic system, sustainability, prototype, solid waste, acid waters, minerals

1. Introducción

La contaminación de los suelos se debe a que empresas metalúrgicas han incorporado tecnologías para obtener los metales y aleaciones; sin embargo estos procesos pueden liberar partículas de metales microscópicos que al ser transportados por el viento a grandes instancias pueden contaminar grandes extensiones de suelos (Csuros and Csuros, 2002).

El interés ambiental por los metales pesados en suelos agrícolas está relacionado con su carácter acumulativo, su no biodegradabilidad, su capacidad de inadvertida acumulación en el perfil del suelo hasta concentraciones tóxicas y su interacción con diferentes propiedades del suelo que determinan su acumulación, movilidad y biodisponibilidad hacia otros componentes del ecosistema (Alloway 1995; Assadian et al., 1998; García y Dorronsoro, 2005; Miller et al., 2004; Dach y Starmans, 2005; Abreu et al., 2005; Mapanda et al., 2005; Lee et al., 2006; Micó et al., 2006; Hernández et al., 2007; Yay et al., 2008).

La contaminación por metales pesados en el suelo puede llegar a persistir cientos y miles de años, aun después de que su incorporación se haya detenido. En el caso de metales como el Cd, Cu y Pb pueden llegar a tener una vida media en el suelo de 15 a 1100, 310 a 1.500 y 740 a 5.900 años, respectivamente, (Alloway 1995; Mapanda et al., 2005; Peris, 2006; Borges Júnior et al., 2008; Krishna y Govil, 2008; Dantu, 2009).

En relación con la toxicidad, los metales pesados pueden ser absorbidos por las raíces de los cultivos o lixiviados hasta los acuíferos, causar así la contaminación de las aguas subterráneas, y de esta forma ser tóxicos para las plantas, los animales y los humanos, a través de la cadena alimentaria.

Este prototipo está orientado a su aplicación en la superficie del suelo denominado horizonte "O" por Volke, Velasco y De la Rosa, quienes los definen como detritos orgánicos, hojas, materia

orgánica parcialmente descompuesta. El suelo es una capa muy fina que separa el mundo animado de lo inanimado, cubre la mayor parte de la superficie terrestre y es uno de los recursos indispensables para el sustento de la humanidad.

De acuerdo a Zúñiga et al., 2011. La tecnología del electromagnetismo utiliza campos magnéticos para acelerar la acción dinámica de los microorganismos benéficos sobre el suelo, realizando un proceso de rehabilitación químico-biológico sobre los suelos afectados, reduciendo el tiempo y aumentando la eficiencia del mejoramiento a través de la actividad biológica. Por tanto a más de la extracción que ofrece el sistemas electromagnético existen otras ventajas que permiten que los suelos sean aprovechados de forma eficiente.

Zúñiga et. al., 2016, menciona que existen resultados interesantes obtenidos con la técnica electromagnética aplicada a campos de la agricultura, en especial a la estimulación de agua de riego y semillas. La tecnología del agua tratada magnéticamente (ATM) genera efectos incrementales sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. Esto es debido a que los cambios en las propiedades físicas y químicas del ATM alteran directa o indirectamente el crecimiento y desarrollo de las plantas. Con base a este análisis la adaptación del sistema para la extracción de metales en el agua de riego multiplica los beneficios sustanciales.

La energía electromagnética está considerada como una técnica de bajo costo para mejorar la calidad de los suelos, especialmente de las semillas. Actualmente las empresas agrícolas, están al tanto de los avances tecnológicos de obtener producciones de una manera más limpia y rápida, están al tanto de cualquier para obtener una producción más limpia y rápida. (Arenas et. al., 2015)

2.-Fundamento teórico

2.1 Electromagnetismo

La teoría electromagnética de Maxwell fue continuada y refinada por Hendrik A. Lorentz (1853-1928) que utilizó la teoría de Maxwell para explicar varios fenómenos como la reflexión y la refracción de la luz [6, 14]. También propuso que un campo electromagnético ejerce una fuerza sobre una carga que se mueve dentro de el con una velocidad (fuerza de Lorentz), suma de la fuerza eléctrica y la fuerza magnética. Lorentz, a partir de 1892, propuso la existencia de partículas con carga eléctrica positiva y negativa y consideró que una corriente eléctrica se debe al

movimiento de cargas, introduciendo de este modo el carácter corpuscular para la electricidad. En 1891 el físico irlandés George J. Stoney (1826-1911) sugirió llamar electrones a las cargas unitarias negativas y en 1897, Joseph John Thomson (1856-1940) determinó experimentalmente la relación carga/masa de los electrones.

La ley que rige las fuerzas de atracción y repulsión entre cargas eléctricas fue descubierta y formulada en 1785 por Charles Augustin Coulomb (1736-1806) . Según la ley de Coulomb, la fuerza entre dos cargas puntuales es proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Esta fuerza es atractiva si las cargas son de distinto signo y repulsiva si el signo de las dos cargas es el mismo.

Según Olmo Nave, 2015. La unidad estándar (SI) para el campo magnético es el Tesla, que se puede ver desde la parte magnética de la ley de fuerza de Lorentz, $F_{\text{magnética}} = qvB$, que está compuesta de (Newton x segundo)/(Culombio x metro). El Gauss (1 Tesla = 10.000 Gauss) es una unidad de campo magnético más pequeña. Un electroimán es un dispositivo capaz de generar un campo magnético a partir de una corriente eléctrica el cual tiene un conductor enrollado, una bobina. La intensidad se puede controlar variando la corriente o el número de espiras de la bobina. Si se corta el suministro de corriente, desaparece el campo magnético.

2.2 Campo eléctrico

Es una medida de la relación de cambio de potencial eléctrico en función de la posición.

$$1N/C= 1V/m$$

De esto se puede interpretar que la unidad del sistema del campo eléctrico puede expresarse en voltio por cada metro (González, A. 2001).

Las leyes del electromagnetismo gobiernan la interacción electromagnética clásica, las leyes formadas por Maxwell en 1860-1862 y en combinación con la ley de Lorentz para la fuerza sobre una carga eléctrica que describe los fenómenos electromagnéticos.

2.3 Velocidad

Según Beer et. al., 2010 La velocidad instantánea v de la partícula se obtiene de la velocidad promedio al elegir intervalos de tiempo Δt y desplazamientos Δx cada vez más cortos. La velocidad en el instante t se representa mediante un número algebraico que puede ser positivo o negativo. Un valor positivo indica que x aumenta, esto es que la partícula se mueve en la dirección positiva.

$$v = \frac{dx}{dt}$$

3.- Métodos y materiales

3.1 Método analítico

A través de investigación documental se establecieron parámetros de análisis y la problemática concerniente al efecto de los metales en la calidad del suelo, principalmente suelos de cultivo.

3.2 Método Sintético

Con base en leyes universales que rigen el comportamiento de electricidad, electromagnetismo, fuerzas gravitacionales se estableció el principio de funcionamiento del sistema electromagnético para la extracción de metales contaminantes.

3.3 Metodología para el diseño

Con el propósito de diseñar el prototipo de la máquina fue de vital importancia los cálculos de: potencia, amperaje, velocidad del sistema banda- transportadora, entre otros.

Para el diseño de la máquina se consideraron muchos aspectos entre ellos: facilidades para la manipulación de la operación, uso de materiales de bajo costo de fácil adquisición y reciclables, sistemas mecánicos amigables con el medio ambiente que no generan emisión de gases.

De la misma manera se configuraron las dimensiones del prototipo utilizando el programa AUTOCAD.

Para la presente investigación se realizaron pruebas experimentales utilizando muestras de piedras minerales y residuos metálicos en una proporción de 10:1 respectivamente, procedentes del proceso de mecanizado en sistemas por arranque de viruta.

El procedimiento para el ensamble del sistema electromagnético para extracción de metales se detalla a continuación:

3.4 Planos estructurales

3.4.1 Vista superior

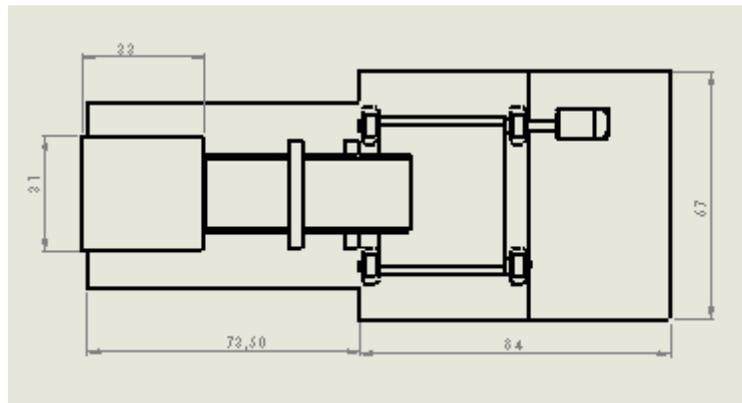
Para iniciar se realizó el esquema gráfico de la parte superior del prototipo en donde se puede apreciar todo el sistema:

Motor

Banda

Estructura de madera.

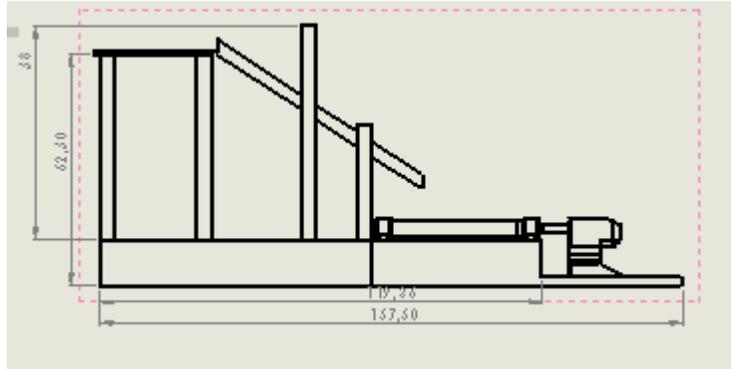
Figura 1: Vista superior de la máquina separadora de metales.



3.4.2 Vista lateral izquierda

Posteriormente en la vista lateral izquierda se puede apreciar las dimensiones y alturas de la banda y motor de manera detallada.

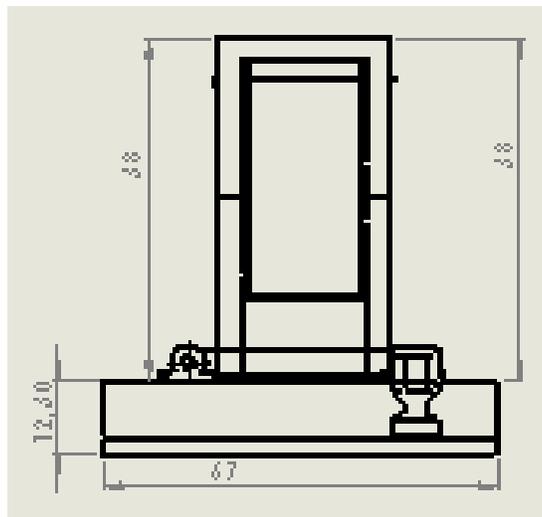
Figura 2: Vista lateral izquierda



3.4.3 Vista frontal

En esta vista se realizó el esquema grafico de las medidas reales en escala, para ayudar a la fabricación del prototipo ya que se puede visualizar de manera adecuada las dimensiones que rige el sistema.

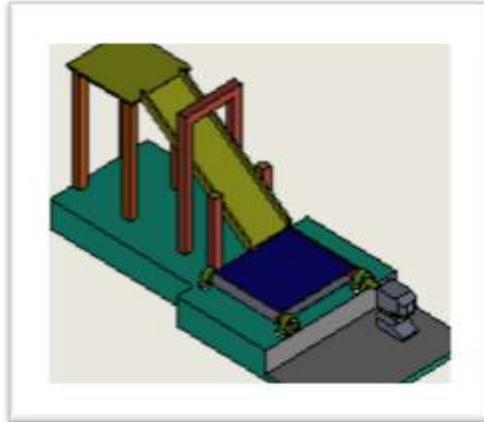
Figura 3: Vista frontal



3.4.4 Vista isométrica

A continuación se representa graficamente el sistema máquina separadoda de metal, tridimensional en dos dimensiones, donde los tres ejes coordenados ortogonales al proyectarse forman ángulos iguales de 120° cada uno sobre el plano.

Figura 4: Vista isométrica



Nota: En este sistema se puede apreciar las dimensiones de la bobina que está ubicada en la parte superior de la rampa de madera por donde se deslizará el material a utilizar.

3.5 Selección del material

Los materiales utilizados para este sistema, están relacionados con la disminución de la contaminación del medio ambiente, por tal motivo se utilizó material reciclable, y son:

Baquelita

Alambre de Cobre N°14

Bases de metal en forma de E

Bicarbonato.

Pegamento Instantáneo (brujita)

Máquina bobinadora.

Herramientas del taller: cortadora, taladro, sierra manual metálica

Motor reductor de velocidad

2 Rodamientos

4 chumaceras tipo puente de 2" $\frac{1}{4}$

Tubo de Nylon (carrete)

Banda elaborada en lona sport.

Madera

3.5.1 Descripción de los materiales

- ***Baquelita***

Material aislante escogido para crear un carrete que no afecte al bobinado que se realizara.

- ***Alambre de Cobre N°14***

El alambre fue escogido debido a los cálculos que se realizó en relación a la sección del núcleo.

- ***Bases de metal en forma de E***

Forma más práctica de permitir que el campo magnético sea más favorable a lo largo de toda la plancha.

- ***Motor reductor de velocidad***

El motor reductor de velocidad fue escogido de acuerdo a los detalles y cálculos obtenidos, este tenía que tener una velocidad promedio que no afecte al desarrollo del proceso.

- ***Banda elaborada en lona sport.***

El material de la banda fue indispensable para que el transporte del material sea más eficiente al momento de separar los metales.

3.6 Preparación de materia prima

3.6.1 Medición

Una vez seleccionada la materia prima, se procede a la medición de todas las partes y componentes del prototipo.

Figura 5: Medición.



3.6.2 Corte

Con el uso de las herramientas adecuadas se procedió a cortar la madera con las especificaciones detalladas en el plano realizado en AutoCAD.

Figura 6: Corte de piezas de madera



3.6.3 Ensamble de las partes que componen la rampa de madera

Posteriormente se unen las partes que forman la estructura de madera, con el uso de pegamento y clavos.

Figura 7: Ensamble de la rampa de madera



3.6.4 Armado de la bobina y banda transportadora.

Mediante cintas de sujeción se acopló la bobina a la estructura de madera, y en la rampa se ubicó la banda transportadora.

Figura 8: Banda transportadora



Figura 9: Bobina



3.6.5 Sistema electromagnético separador de metal completo

Figura 10: Sistema electromagnético



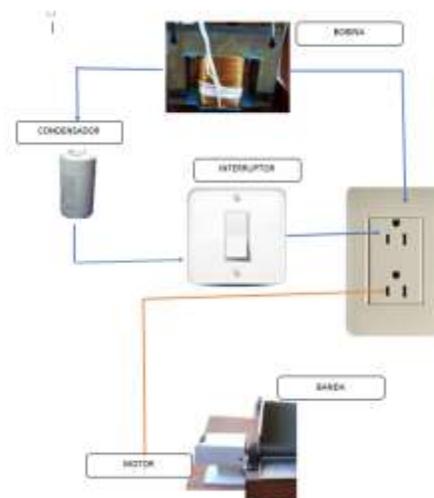
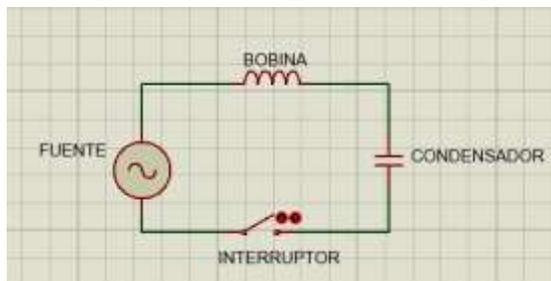
Para el diseño del dispositivo se tomaron en cuenta varios factores que permitieron el correcto funcionamiento del prototipo:

Cálculos necesarios para encontrar el número de vueltas necesario para el bobinado, además se estableció de manera correcta el número de alambre a utilizar.

La velocidad con la que el material se desplazara durante el proceso.

Selección de material que involucre su tratamiento a través de la máquina separadora de metales.

Figura 10: Proceso de funcionamiento bobina diseñada



4.- Análisis y Resultados

4.1 Cálculos de la bobina

4.1.1 Potencia:

$$P = \left(\frac{S_n}{K}\right)^2$$

$$P = \left(\frac{41,08}{1}\right)^2$$

$$P = 1687,57 \text{ Watt}$$

Donde:

P = potencia del transformador

S_n = Área de la sección del núcleo en cm^2

K = coeficiente que depende de la calidad del material.

4.1.2 Intensidad de Corriente:

$$P = V * I$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{1687,57 \text{ Watt}}{110 \text{ V}}$$

$$I = 15,34 \text{ A}$$

Donde:

I = Intensidad de corriente

V = Voltaje

4.1.3 Sección Núcleo:

$$S_e = \frac{I_c}{\varphi}$$

$$751 - 1000$$

$$\varphi = 1$$

$$501 - 750$$

$$\varphi = 1$$

Donde

Se = Sección del conductor

Ic = intensidad del conductor

φ = densidad de corriente en amperios sobre milímetro cuadrado (generalmente 4 A/mm²)

4.1.4 Densidad relativa

$$S_e = \frac{15.34}{1}$$

$$S_e = 15.34$$

$$S_e = \frac{15.34}{2}$$

$$S_e = 7.67$$

4.1.5 Número de Vueltas

$$E = 4,44 * f * B * N * S_n \times 10^{-8}$$

$$N = \frac{E}{4,44 * f * B * S_n \times 10^{-8}}$$

$$N = \frac{110 \text{ V}}{41,08 * 60 * 10000 * 4,44 \times 10^{-8}}$$

$$N = \frac{110 V}{0,109458432}$$

$$N \cong 1004,95$$

$$N = 101 \text{ Espiras}$$

Donde:

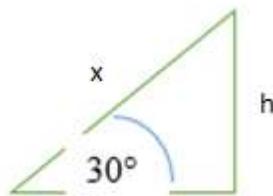
N = espiras por voltio

f = frecuencia en Hz

Sn = sección del núcleo

B = inducción por Gauss.

4.1.6 Cálculo de altura de caída de material:



$$\text{Sen}30^\circ = \frac{h}{x}$$

$$h = \text{Sen } 30^\circ (0,5)$$

$$h = 0,25 \text{ m}$$

4.1.6 Cálculos de la rapidez de paso

$$E_c = E_p$$

$$\frac{1}{2} mV^2 = mgh$$

$$\frac{1}{2}V^2 = gh$$

$$V = \sqrt{2gh}$$

$$V = \sqrt{2(0,25m)(9,8\text{ m/s}^2)}$$

$$V = 2,21\text{ m/s}$$

$$t = \frac{2x}{V} = \frac{2(0,50\text{ m})}{2,21\text{ m/s}}$$

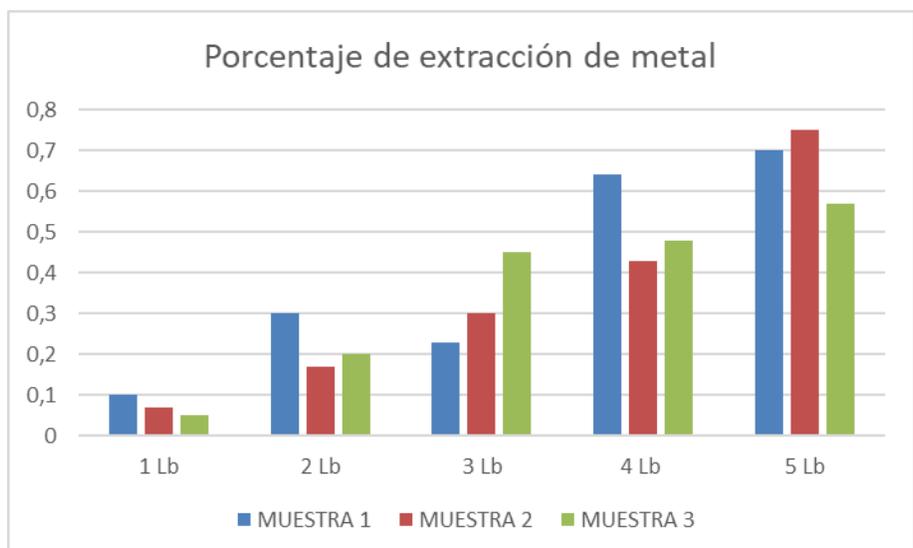
$$t = 0,826\text{ s}$$

4.1.8 Porcentaje de extracción de residuos metálicos.

Tabla 1: Experimento en diferentes muestras de purificación de suelos

Cantidad de mezcla de limalla con minerales (libras)	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	Promedio
1 Lb	0,1	0,07	0,05	7%
2 Lb	0,3	0,17	0,2	22%
3 Lb	0,23	0,3	0,45	33%
4 Lb	0,64	0,43	0,48	52%
5 Lb	0,7	0,75	0,57	67%

Figura 11:
Cantidad de extracción de metal en muestras tomadas

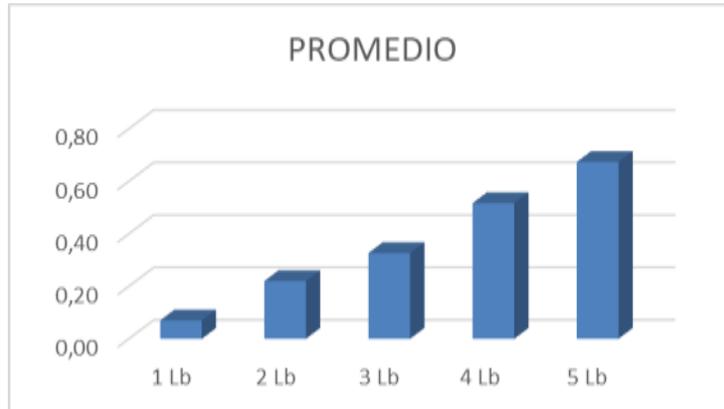


Al incrementar la cantidad de muestra en una proporción de 10:1 también incrementa la cantidad de residuos metálicos, entonces se observa que el dispositivo extrae mayor cantidad de metal de forma gradual.

4.1.9 Comportamiento promedio de la extracción de metal en diferentes cantidades de muestra.

El promedio nos indica que mientras menos libras se deslice mediante la rampa y a una velocidad promedio se obtendrá resultados más eficientes, caso contrario no será notorio en gran manera la separación de minerales con el metal.

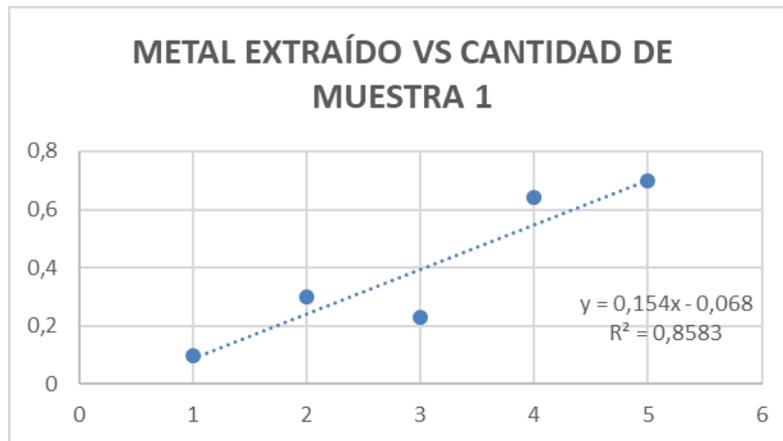
Figura 12: Resultado promedio



A continuación se detallan las representaciones gráficas de la extracción de limallas, realizado en las tres muestras:

4.1.10 Análisis gráfico de extracción de metal muestra1

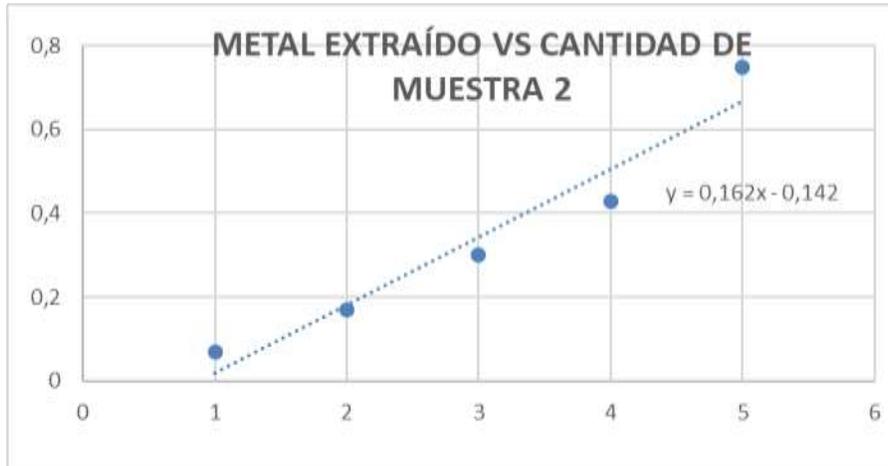
Figura 13: Resultado muestra 1



A medida que aumenta la cantidad de la muestra 1, significativamente aumenta la cantidad de extracción de metales, el coeficiente de determinación explica que el 85, 83 % de los datos se ajusta a un comportamiento lineal.

4.1.11 Análisis gráfico de extracción de metal muestra 2

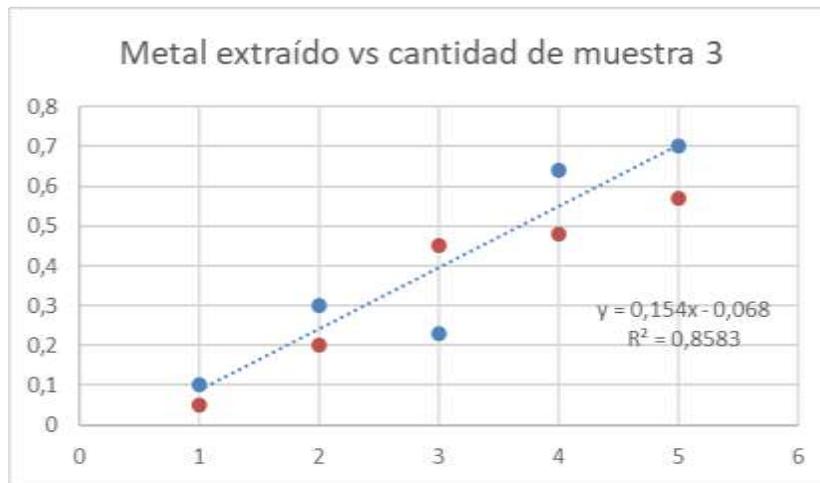
Figura 13: Resultado muestra 2



A medida que aumenta la cantidad de la muestra 2, significativamente aumenta la cantidad de extracción de metales, el coeficiente de determinación explica que el 85, 83 % de los datos se ajusta a un comportamiento lineal.

4.1.12 Análisis gráfico de extracción de metal muestra 2

Figura 14: Resultado muestra 3



A medida que aumenta la cantidad de la muestra 3, significativamente aumenta la cantidad de extracción de metales, el coeficiente de determinación explica que el 85, 83 % de los datos se ajusta a un comportamiento lineal.

4.1.13 Cálculos inclinación de la rampa

Tabla 2:
para el
del

Angulo de Inclinación	h	Velocidad (m/s)	Tiempo
45°	0.25 m	2.21 m/s	0.826 s
30°	0.35 m	0.35 m/s	0.732 s

ángulos
desarrollo
prototipo

Figura 15: Gráfica velocidad en función del tiempo



Se puede apreciar que a 35° de inclinación se tiene menor velocidad y tiempo, con esto el proceso tendrá resultados eficientes.

En este caso el ángulo que se consideró para el diseño del prototipo fue de 45° debido a que se obtiene una mayor rapidez de paso de las muestras establecidas anteriormente.

4.1.14 Cálculo del campo magnético y fuerza

La bobina de CA posee gran fuerza de atracción, es capaz de atraer la pieza polar desde bastante distancia, pero una vez cerrado el circuito magnético la impedancia aumenta. La corriente disminuye y la fuerza de retención también disminuye.

Al disminuir la fuerza de retención pueden aparecer ruidos o vibraciones y eventualmente problemas con el contacto.

La bobina en CC el proceso es opuesto, poseen poca fuerza de atracción, comparado con el de CA, pero cuando se encuentran cerrados, la fuerza de retención es máxima.

No presentan vibraciones ni ruidos.

Utilizamos corriente alterna con un condensador elemento capaz de almacenar energía eléctrica

Bloquea el flujo de corriente continua y permite el flujo de la CA.

Figura 15: Cálculos de

bobinas



4.1.15 Cálculos de la bobina

Tabla 3: Distancia y fuerza de retención

Distancia	Fuerza de retención				
	C.C	C.A	Fuerza Mayor	Fuerza Menor	Condensador

3 cm		x	x		X

Se concluye que mientras la bobina este a menor distancia de la rampa mayor campo magnético se generará, el proceso mejora con la aplicación del condensador, ya que sin el mismo no existiera una fuerza suficiente que el sistema funcione de manera adecuada.

Figura 15: Fuerza- potencia de bobina



La distancia de la bobina vs la rampa es de 3 cm con esto se obtiene mayor fuerza y campo magnético obteniendo resultados positivos, si estuviera a una distancia de 20 cm no se obtuviera ni fuerza, ni campo magnético, en caso de adquirirlo sería mínimo.

4.1.16 Prueba de la banda transportadora

La banda transportadora es de uso manual, el proceso inicia con la activación del motor, mientras la muestra escogida de suelo contaminado con limallas pasa por la banda transportadora, las limallas son atraídas. .

Posteriormente se apaga el motor y se verifica la cantidad de impurezas que hubo en la muestra escogida.

Una vez realizado el proceso anterior, se activa de nuevo el motor para la clasificación exclusivamente de las limallas de metal que se deslizan después de apagar el electroimán, la banda transportadora gira hacia un solo sentido por eso se debe tener dos recipientes diferentes para la clasificación.

Figura 16: Prueba de banda



5.- Conclusiones

En el presente proyecto se demuestra que la máquina clasificadora de metales permitirá la recuperación de metales que pueden ser reutilizados en nuevas creaciones de nuevos productos, evitando la contaminación y facilitando la obtención de metales.

El sistema de extracción de metales mediante electroimán solo funciona cuando por su bobina esté corriendo electricidad, ya que el mismo se comporta como imán atrayendo a los metales y generando gran campo magnético temporal.

Se demostró que a mayor concentración de alambre de cobre en un sector determinado, se origina un mayor flujo de energía que provoca mayor magnetismo.

A través de la banda transportadora se puede obtener una mayor producción contribuyendo eficientemente con la separación de metales.

Mediante los cálculos correspondientes de factores, se precisó el sistema que ayuda a la extracción de metales en los suelos.

Bibliografía

Abreu, C.A., van Raij B., Abreu, M.F., and González, A.P. 2005. Routine soil testing to monitor heavy metals and boron. *Scientia Agricola* 62:564-571.

Alloway , B.J. 1995. *Heavy Metals in Soils* Blackie Academic and Professional, London, UK.

Armesto Arenas, Alexander, Angarita, Wilson, & Lobo Jácome, Ramón. (2015). Efectos de la radiación electromagnética sobre la germinación del maíz. *Tecnura*, 19(45), 65-73.

Assadian, N.W., L.C. Esparza, L.B. Fenn, A.S. Ali, S. Miyamoto, U.V. Figueroa, and A.W. Warrick. 1998.

Beer, Ferdinand. y JOHNSTON, Russell. *Mecánica Vectorial para Ingenieros. Dinámica*. 9ª ed. España. Editorial Mc-Graw Hill, 2010. 776 p. ISBN: 978-607-15-0261-2.

Csuros, M. and C. Csuros 2002, *Environmental sampling and analysis for metals*, Lewis Publishers, Boca Raton, United State.

Dach, J., and D. Starmans. 2005. Heavy metals balance in Polish and Dutch agronomy: Actual state and previsions for the future. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 107:309-316

García, I., and C. Dorronsoro. 2005. Contaminación por Metales Pesados. En *Tecnología de Suelos*. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada, Granada.

González, A., (2001). *¿Qué es el magnetismo?* Universidad de Salamanca. ISBN 847800887X, 9788478008872.

Hernández, A.J., S. Alexis, and J. Pastor. 2007. Soil degradation in the tropical forests of the Dominican Republic's Pedernales province in relation to heavy metal contents. *Science of The TotalEnvironment* 378:36-41.

J.C. Maxwel, *Materia y Movimiento* (Editorial Crítica, Barcelona, 2006), edición y traducción de J.M. Sánchez Ron.

Miller, J.R., K.A. Hudson-Edwards, P.J. Lechler, D.Preston, and M.G. Macklin. 2004. Heavy metal contamination of water, soil and produce within riverine communities of the Río Pilcomayo basin, Bolivia. *Science of The Total Environment* 320:189-209.

Olmo, M. Nave, R. (2015). *La Fuerza Electromagnética*. Recuperado el 7 de julio del 2015 de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/particles/expar.html>.

Tania Volke Sepúlveda, Juan A. Velasco Trejo y David A. De la Rosa Pérez, Secretaria de Medio Ambiente Y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología

Zúñiga, O., Osorio, J., Cuero, R., y Peña, J. (2011). Evaluación de tecnologías para la recuperación de suelos degradados por salinidad. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 64 (1), 5769-5779.

Zúñiga E., Orlando, Jiménez A., Cristian O., Benavides B., Jhony A., & Torres González, Celina. (2016). Efecto de campos electromagnéticos sobre la actividad microbiana de un bio-fertilizante.