

Construcción de un inductor electromagnético

Castro Sánchez Alejandro, Campos Carpio Iván, Pantoja Neria Fabián Gabriel,
Méndez García José Claudio Cenobio, Plascencia Barrera Gabriel, Jaramillo Viguera David

Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación e Innovación Tecnológica

alecastro1907@outlok.es

Fecha de aceptación: 31 de agosto de 2015

Fecha de publicación: 23 de Septiembre de 2015

RESUMEN

El diseño de un inductor electromagnético es de interés en la separación de residuos sólidos en el agua contaminada. El campo magnético genera fuerzas que pueden generar vórtices y de esta manera separar sólidos suspendidos en el agua por medio de la separación hidrodinámica. La inducción electromagnética se utilizara para provocar dicho movimiento debido a que es eficiente en su generación y fácil de producir. El inductor se diseñó con base a las variables de intensidad de corriente y voltaje.

Palabras clave: inducción, separación, fuerzas electromagnéticas.

ABSTRACT

To separate suspended particle from waste water stream it is possible to utilize Lorentz force induced by an electromagnetic field formed by an induction coil. That's is because imperant to desing such a coil that may be used for that purpose

Key words: waste water stream.

INTRODUCCIÓN

La inducción electromagnética consiste en producción de corrientes eléctricas por campos magnéticos variables con el tiempo.

Las características físicas de la corriente eléctrica generada dependerán de las características del mismo material a inducir, en otras palabras la intensidad del campo y el voltaje necesario para crear la dependencia de la resistencia eléctrica del material.

En este tipo de dispositivo aparece un efecto que va asociado a los cambios de frecuencia y al campo magnético, este se le llama penetración de campo (skin depth) el cual consiste en la penetración del campo magnético en el material e influye en la generación de la corriente del mismo, al modificar la frecuencia este efecto cambia debido a la concentración del líneas de campo en la superficie.

Si se manipula la frecuencia con la que se trabaja se crean diversos efectos, si se aumenta la frecuencia se aumenta el voltaje y si aumenta el voltaje, aumenta la potencia y así el campo magnético generado en el material, por ende se modifican las fuerzas electromagnéticas generadas.

Las fuerzas electromagnéticas que tienen efecto sobre el material, provocan movimiento en el mismo y se denominan fuerzas de Lorentz. Este es una fuerza centrípeta por lo tanto el movimiento que se tendrá será una generación de un vórtice debido al material que vamos a manejar.

Al someter agua contaminada ha dicho campo magnético generado, se espera que se forme un vórtice debido al efecto de las fuerzas de Lorentz que dependen de la intensidad de corriente, y de igual manera de la intensidad de campo magnético y por consecuencia el vórtice separara los residuos sólidos del agua.

METODOLOGÍA

La metodología constara de tres etapas donde se pretende realizar el diseño del inductor, y construir el mismo, para finalmente realizar el proceso de separación hidrodinámica.

Etapas 1

1. Definición de las variables a trabajar.
2. Cálculo de los parámetros del inductor y construcción del inductor.

Etapas 2

1. Definición de ciclo de generación de campos magnéticos.

Etapas 3

2. Evaluación de separación de residuos sólidos.

Etapas 1

La inducción se describe a partir de las leyes de Ampere, y de Faraday. [1]

Es conocido que si se le aplica una corriente a un alambre conductor, este genera un campo magnético cuya distribución viene dada por la ley de Ampere. También se sabe que si este conductor es enrollado dando forma de bobina el campo magnético que genera será más intenso, bajo este principio son construidos los transformadores, entonces para realizar un inductor electromagnético es necesario tener un conductor con forma de bobina, el cual será el responsable de inducir el campo magnético que se necesita para poder realizar la separación hidrodinámica. [1]

Por lo tanto como primer paso se debe de diseñar el inductor mediante las variables siguientes:

- Longitud
- Numero de espiras
- Tamaño de la espira.
- Material del inductor.

Se determinaron, 8 espiras para la bobina, que se construirá con tubo de Cobre, y para esta se utilizara tubería de 0.125 mm de diámetro.

La longitud de la bobina se calculó a partir de la siguiente expresión:

$$L = (\pi D)(n)(1.2) = (\pi)(0.0381m)(8)(1.2) = 1.2 \quad (1)$$

Donde:

D, es el diámetro de la espira, que es de 1.5 de pulgada, para el cálculo se toma su valor equivalente en metros que es de 0.0381 m.

n, es el número de espiras, que es correspondiente a 8 espiras.

1.2, es un factor que aporta un 20% más de la longitud para las conexiones, de esta manera no se obtiene un aumento considerable a la resistencia eléctrica del material.

Una vez calculado el inductor se definen las variables de trabajo con las cuales se pretende manipular el inductor. Estas variables son:

- Voltaje
- Intensidad
- Potencia
- Frecuencia de trabajo
- Frecuencia Mínima
- Frecuencia Máxima

Para poder establecer estas variables se necesitó de un dispositivo con el cual se puedan modificar dichas variables, este es un variador de frecuencias, del tipo Micromaster de Siemens para manipular las variables que se enlistaron anteriormente.

Del manera que el dispositivo permite tener un intervalo de los valores que pueden adoptar dichas variables.

Tabla 1. Intervalo de valores de las variables.

Variable	Rango Valores	UNIDAD
Voltaje de trabajo.	10-230	V
Intensidad de trabajo	10-55	A
Potencia de trabajo	100-10350	W
Frecuencia de trabajo	60	Hz
Frecuencia mínima	0	Hz
Frecuencia máxima	650	Hz

Una vez teniendo las variables se determinan los valores de los campos magnéticos que pueden ser obtenidos en el inductor por medio de los rangos de variables que se tienen.

Por medio de la ley de Amper se determinara la intensidad de campo magnético.

$$ni = HL \quad (2)$$

Donde:

- **L** es la longitud de la bobina.
- **H** es la intensidad de campo magnético.
- **n** el número de espiras que es correspondiente a 8 espiras.
- **i** es la corriente de 35 A.

Despejando a **H**:

$$H = \frac{ni}{L} = \frac{(8)(10A)}{1.2m} = 66.67 \frac{A}{m} \quad (2')$$

Utilizando la ley de Faraday se determina la densidad de campo magnético generado valores de las variables.

$$\beta = \mu_0 in \quad (3)$$

Donde:

- **β** es la densidad de campo magnético.
- **μ₀** es la permeabilidad magnética del vacío con valor de 4x10⁻⁷ N/A²
- **i** es la corriente de 35 A.
- **n** es el número de espiras en la bobina, que es correspondiente a 8 espiras.

$$\beta = \left(4 \times 10^{-7} \frac{N}{A^2}\right) (10A)(8) = 3.2 \times 10^{-5} \frac{N}{A} \quad (3')$$

Tabla 2. Estimaciones para las densidades e intensidades de campo magnético.

B (N/A)	H (A/m)
3.36E-05	66.7
5.04E-05	100.0
6.72E-05	133.3
8.40E-05	166.7
1.01E-04	200.0
1.18E-04	233.3
1.34E-04	266.7
1.51E-04	300.0
1.68E-04	333.3

1.85E-04	366.7
----------	-------

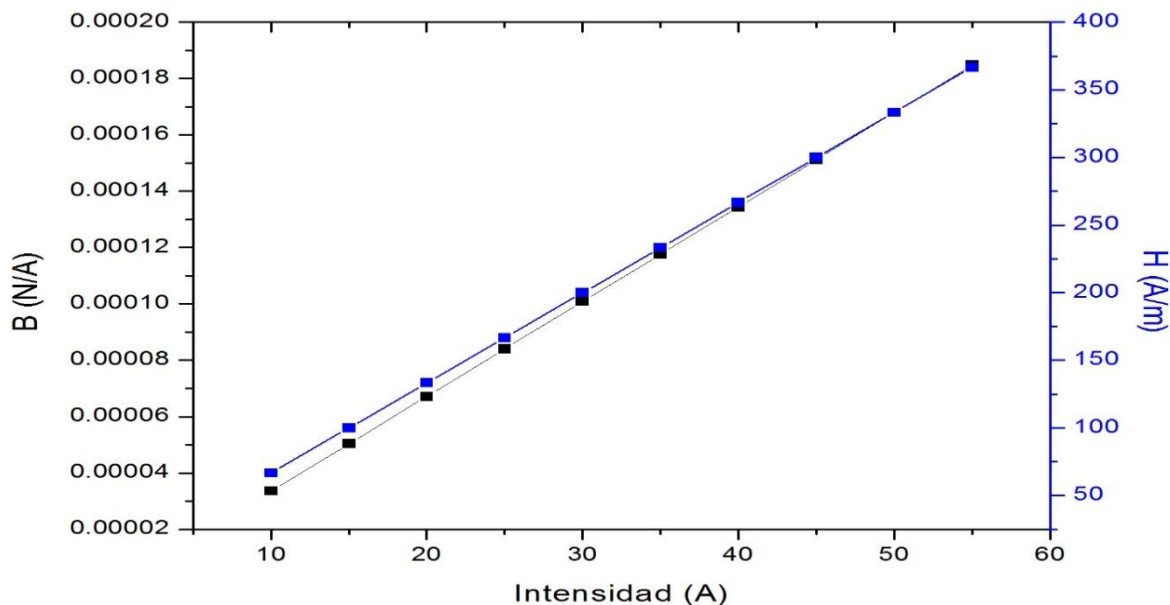


Figura 1. Muestra la relación entre la intensidad de campo magnético y la densidad del mismo, esta es directamente proporcional.

Por otro lado, también se puede calcular la penetración de las líneas de campo en el agua, esta se da a partir de que el campo magnético penetra en el material en el cual se induciendo el campo magnético, esto va en función de la permeabilidad magnética del material, y está delimitado por la capacidad del mismo material a absorber el campo magnético.

Se determina con la siguiente expresión:

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu_0 \mu_r}} \quad (4)$$

Donde:

- δ = Skin Depth
- $\rho = 1.68 \times 10^{-8} \Omega/m$ Resistencia eléctrica del material.
- $\mu_0 = 4 \times 10^{-7} N/A^2$ Permeabilidad magnética del vacío
- $\mu_r = 2000$ Permeabilidad relativa.
- $f = 0-650$ Hz Rangos de frecuencias con los que se están trabajando.

Tabla 3. Estimaciones de Skin Depth frecuencia y la penetración de campo

Frecuencia (Hz)	Skin Depth δ (m)
50	2.79E-02
100	1.97E-02
150	1.61E-02
200	1.40E-02
250	1.25E-02
300	1.14E-02
350	1.06E-02
400	9.87E-03
450	9.31E-03
500	8.83E-03
550	8.42E-03
600	8.06E-03
650	7.74E-03

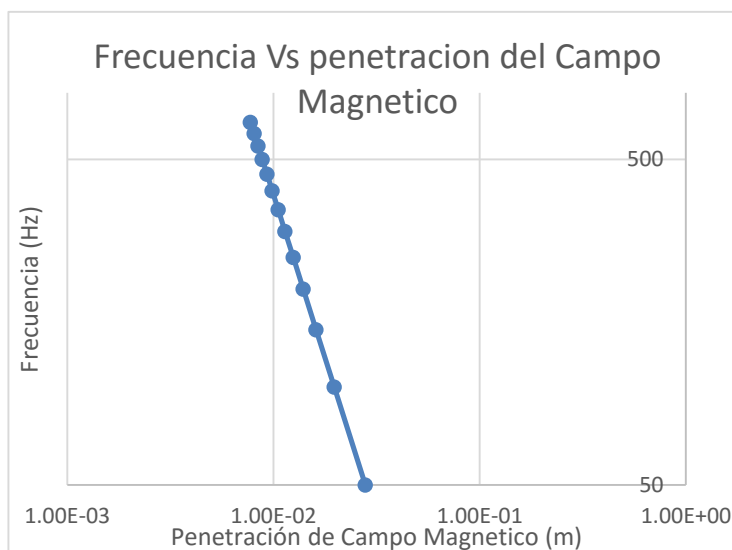


Figura 2. Muestra la relación inversamente proporcional entre la penetración y la frecuencia

Las fuerzas generadas en el inductor (fuerza de Lorentz) por la acción del campo magnético. Se determina a partir de la expresión:

$$F = i\beta L \sin(\alpha) \quad (5)$$

Tabla 4. Cálculo de Fuerza de Lorentz

B (N/A)	F (N/m)
3.36E-05	4.03E-04
5.04E-05	9.07E-04
6.72E-05	1.61E-03
8.40E-05	2.52E-03
1.01E-04	3.63E-03
1.18E-04	4.94E-03
1.34E-04	6.45E-03
1.51E-04	8.16E-03
1.68E-04	1.01E-02
1.85E-04	1.22E-02

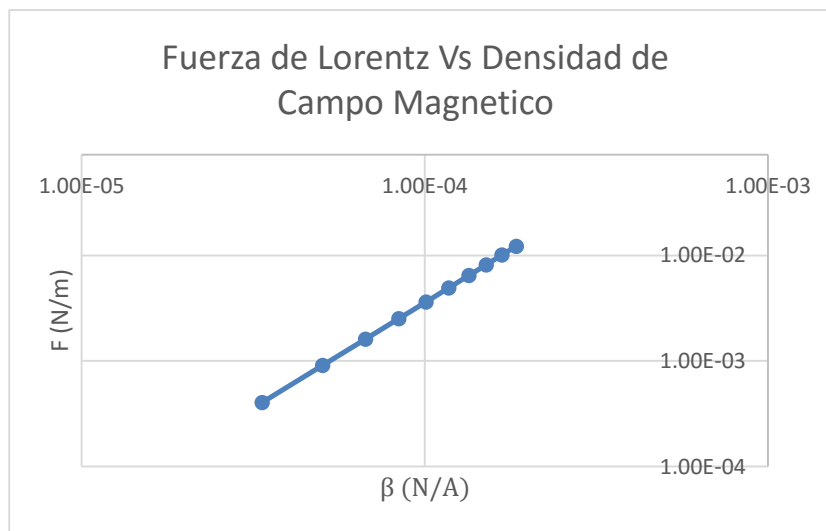


Figura 3. Muestra la relación directamente proporcional de las fuerzas generadas con la densidad de campo magnético obtenida.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó el diseño de un inductor electromagnético, para generar fuerzas de Lorentz en un recipiente con agua, y provoca un movimiento tipo vórtice para producir separación de residuos sólidos en el agua por medio de la hidrodinámica, en el proceso se puede llegar a las siguientes conclusiones:

Al utilizar el método de inducción electromagnética se generan corrientes eléctricas el agua lo que provoca un calentamiento de la misma. Las intensidades de corriente utilizada en sistema deben de ser valores muy altos para poder generar campos magnéticos. La intensidad de campo magnético dependerá de la intensidad de corriente, estos tienen una relación directamente proporcional, en otras palabras, si la intensidad de corriente eléctrica aumenta, la intensidad de campo magnético aumenta. La densidad de campo magnético depende directamente de la intensidad de corriente y de la longitud del inductor, si la intensidad aumenta, la densidad del campo magnético aumenta y si la longitud del inductor se incrementa también aumentará dicha densidad. Las corrientes que se generan en el agua por el campo magnético inducido son denominadas corrientes parasitas o corrientes de Foucault donde su intensidad dependerá directamente de la intensidad de corriente alimentada. Las fuerzas generadas son resultado de la densidad del campo magnético el sistema y estas tienen influencia en el agua, y la corriente que se genera, de tal manera que este produce movimiento en el sistema. La intensidad de la fuerza de Lorentz obtenida está en función de la densidad de campo magnético, si aumenta la densidad aumenta la fuerza, y como la densidad de campo magnético está en función de la intensidad de corriente y la longitud del inductor se puede decir que la fuerza está en función de la intensidad de corriente del inductor y de la longitud del mismo.

REFERENCIAS

- Gonzales Winder, Aller, Jose M. Lászlo, Sajó-B Horvart, Julio W. (2013). Diseño y Construcción de Bobina de Calentamiento para Hornos de Inducción Electromagnética: Universidad de Ciencia y Tecnología Volumen 17, N° 66 Marzo.
- Irving L. Kosow, Reverte (2008), Maquinas eléctricas y transformadores 2ª Ed. S. A. México,.
- J. Acero, R. Alonso, L. A. Barragan, and J. M. Burdio, (2006), "Modeling of Planar Spiral Inductors Between Two Multiplayer Media For Induction Heating Applications: IEEE Trans. Magn., Vol. 42, No. 11, Noviembre.
- J. M. D. Coey (2010). Magnetism and magnetic materials, 7ª Cambridge University Press, England.
- Jesús Alonso Martínez Ledesma. (2013). Desarrollo de un Inversor Resonante para Calentamiento por Inducción Electromagnética. Tesis de Maestría, Universidad Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación e Innovación Tecnológica.
- R. A. Serway, (2007). Física para Ciencias e Ingenieriles, Mexico: Thomson,.
- Raymond A. Serway (2007). Física para ciencias e ingenierías volumen II, 5ª Ed. Thomson, México.
- Yu Sun, Youhua Wang, Xiaoguang Yang, Lingling Pang (2012). A Novel Coil Distribution for Transvers Flux Induction Heating: Physics Procedia 50 (2013) 32-37.