

Display de ferrofluido basado en electroimanes

Daniel Mateo Burbano Martínez

Estudiante del Programa de Ingeniería Mecatrónica
Universidad Mariana

Dagoberto Mayorca Torres

Docente del Programa de Ingeniería Mecatrónica
Universidad Mariana

Introducción

Los ferrofluidos (FEF) se componen de partículas ferromagnéticas suspendidas comúnmente en un solvente orgánico o agua. Debido a que el fluido se comporta de una manera muy característica ante un estímulo magnético, es posible dar a los cuerpos percibidos en la pantalla una fuerte referencia a las criaturas vivientes y, además, por el flujo natural del material, se puede utilizar para crear formas reconocibles y caracteres escritos (Koelman, s.f.). Además, el impacto que puede generar el display de ferrofluido (DDF) en el mercado sería importante, ya que los dispositivos de este tipo no solo son ampliamente difundidos debido a su primicia tecnológica, sino también a su estrecha relación visual con la naturaleza misma.

Por tanto, el objetivo del proyecto es crear un prototipo funcional que controle a voluntad el movimiento del FEF dentro de un recipiente y poder visualizar formas predeterminadas, guardando similitud a un display electrónico. Para alcanzar dicho propósito, se cumplió con una serie de objetivos preliminares, entre los que se destacan el cálculo de variables para la fabricación de las bobinas y cumplir el requerimiento de alimentación eléctrica de cada una. Además, se tuvo que producir un líquido de suspensión para que el FEF pudiera moverse con facilidad y no manchase el recipiente que lo contenía. Se resalta que a lo largo del proceso surgieron nuevos puntos a resolver, como solucionar el aumento de temperatura en algunos componentes electrónicos.

Este documento presenta un enfoque sistemático para la manipulación del Ferrofluido, centrándose en el diseño de un prototipo capaz de emular las funciones de una pantalla normal a pequeña escala. El valor agregado del DDF radica en su modelo de visualización no convencional, permitiendo al usuario experimentarla de manera diferente. En síntesis, se aborda los cálculos realizados para entender el comportamiento de los elementos que conforman el dispositivo, la fabricación y montaje de la parte física, la programación del dispositivo de control, en este caso Arduino, y los resultados de las pruebas realizadas al prototipo, primordialmente, datos críticos como la respuesta del FEF a los campos magnéticos producidos por los electroimanes y la temperatura alcanzada por ellos después de intervalos de tiempo predeterminados.

Marco Teórico

Circuito RL

Como se puede apreciar en la Figura (1), un circuito RL está compuesto por una resistencia, un inductor, una fuente de voltaje y un relevo o contactor, que permite iniciar la circulación de corriente eléctrica.

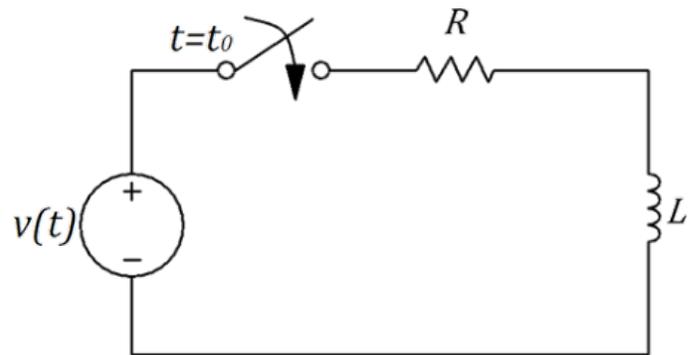


Figura 1. Circuito RL con una malla.

Fuente: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Para resolver este tipo de circuitos, se calcula la inductancia con la formula 1. Donde L_t es la inductancia total en uH, N es el número de espiras, r es el radio del núcleo en cm, L es la longitud del devanado en cm, b es el espesor del devanado

$$L_t = \frac{0,8N^2r^2}{15,4r + 22,8L + 25,4b} \quad (1)$$

Se debe resaltar que la fórmula 1 aplica para inductores con núcleo de aire, es decir, en el caso de un electroimán que tiene núcleo de hierro se debe hacer un ajuste, ya que la inductancia depende linealmente del coeficiente de permeabilidad magnética, para el caso del hierro, el coeficiente es de 4000 a 5000 veces mayor. Por otra parte, la fórmula que determina el espesor del alambre para el devanado es el siguiente:

$$b = d^2 \frac{N}{L} \quad (2)$$

La solución general, asociada a la Condición inicial y cálculo del τ , mediante la relación de inductancia y resistencia total del circuito para $t=0$ es la ecuación 3. Donde τ es la constante de tiempo del circuito en segundos (s) y R_t es la resistencia total del circuito en ohmios (Ω).

$$\tau = \frac{L}{R_t} \quad (3)$$

El cálculo de la corriente i , que circula por circuito, se realiza aplicando la ecuación 4. Donde L_t es la inductancia de bobina en Henrios (H), U es la tensión del generador en voltios (v), y t es el tiempo en segundos (s).

$$i_{bobina} = \frac{U}{R_t} \left(1 - e^{-\frac{Lt}{\tau}} \right) \quad (4)$$

Materiales y Métodos

Diseño y montaje físico del dispositivo

El hardware del dispositivo está conformado por dos partes importantes, el soporte estructural y el componente electrónico como tal. A su vez, dichos conjuntos están formados por varios elementos que cumplen un papel funcional o estético en la articulación del prototipo.

Componente estructural: La integran el armazón o caja, éste cumple la función de proteger los demás elementos

de los factores externos y darle un buen acabado al prototipo, fue fabricado en madera con medidas de 36,5 x 12,5 x 16,5 cm. Cuenta con cubierta corrediza y un orificio en el frente para disponer el siguiente componente de la estructura, la pantalla es la encargada de contener el FEF y el líquido de suspensión, se optó por utilizar un recipiente de vidrio para perfumes. De este conjunto también hace parte el soporte para las bobinas que las dispone en una configuración matricial de 5 x 3 y las sujeta a la base principal del DDF. Finalmente, se cuenta con tres disipadores que brindan apoyo a las resistencias tanto estructural como térmico.



Figura 2. Armazón del DDF.

Componente electrónico: Consta de tres etapas: control, conmutación y RL, cada una con alimentación eléctrica independiente, ya que los requerimientos necesarios eran diferentes, permitiendo aislar las etapas y evitando posibles cortocircuitos, sobrecalentamiento y, en general, mal funcionamiento, además, permite una inspección más fácil en caso de necesitarla.

La etapa de control consta de un ATmega 2560, microcontrolador de la familia Arduino, necesario para enviar señales a la siguiente etapa, para ello, se utilizan los pines digitales [22-36], en total son 15 canales que permitirán el control de los electroimanes más adelante, su alimentación proviene de una batería de 5 voltios-2 amperios hora.

La etapa de conmutación está integrada por 4 módulos de 4 relés cada uno, para un total de 16, estos se encargan de abrir o cerrar el circuito RL de la siguiente etapa, como suministro eléctrico tiene una batería de 6 voltios-4 amperios hora, con un regulador L7805CV a 5 voltios.

La etapa RL es un circuito que integra 15 mallas con una configuración RL cada una, se encuentran conmutadas por la etapa anterior y en el instante inicial todas se encuentra en circuito abierto. Para la fabricación de los electroimanes, se devanó alambre esmaltado calibre N.º 21, procurando en todos los casos dar 440 vueltas en total y 100 espiras por capa.

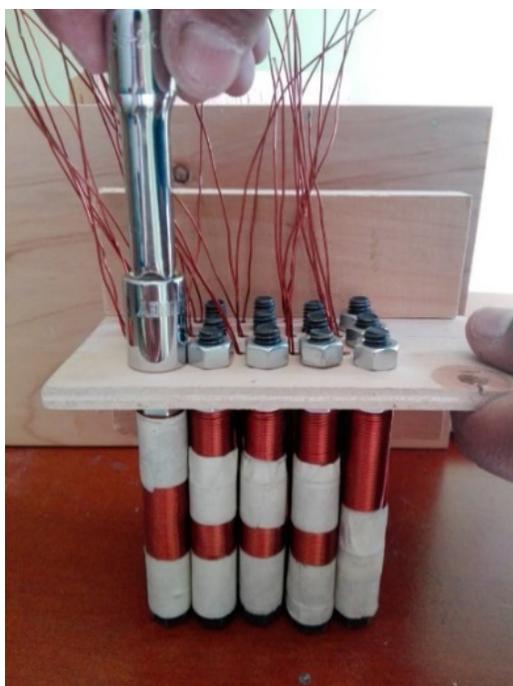


Figura 3. Montaje de los electroimanes en el soporte.

Prototipo final: El aspecto final del prototipo, sin su carcasa después de integrar los dos componentes estructurales y electrónicos, se muestra en la Figura 4.

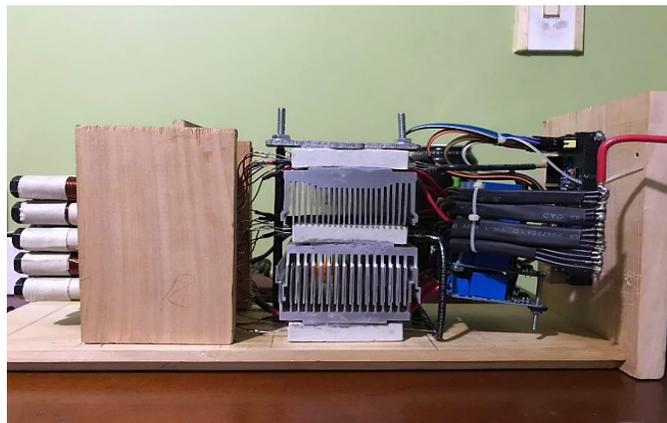


Figura 4. Conexiones internas del prototipo final.

Análisis de Resultados

El cálculo y medición de los parámetros de fabricación y en funcionamiento de las bobinas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. *Parámetros de las bobinas*

Espesor del alambre	3.07 mm
Inductancia	133.28 uH
Tao	0.04165 s-1
Corriente	3.99 A

La respuesta del FEF ante el líquido de suspensión no llegó a ser satisfactoria, ya que se mostraba un desgaste y resequedad después de 10 minutos de uso. Se resalta que la reacción ante el campo magnético es la adecuada,



Figura 5. DDF en funcionamiento

Buscando evidenciar y comparar los cálculos realizados, se realizaron mediciones de inductancia de todas las bobinas con un promedio de 0.62 mH.



Figura 6. Medición de la inductancia de un electroimán.

Se comprobó, utilizando un dinamómetro, la fuerza que ejerce cada electroimán al FEF, los resultados que arrojó con la resistencia en serie rondaban los 5,2 N a 6 N, es decir, una variación del 13,3 % aproximadamente.



Figura 7. Fuerza máxima de un electroimán.

Se realizó un estudio adicional del cambio de temperatura con respecto al tiempo de dos elementos críticos en disipación de calor, como los electroimanes y las resistencias de potencia. Los valores arrojados por tres elementos de cada tipo después de la experimentación se plasman en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de temperatura en $^{\circ}\text{C}$ de bobinas (B) y resistencias (R) en intervalos de tiempo (t)

t [s]	B1	B2	B3	R1	R2	R3
0	24	23	21	21	22	21
10	26	25	23	23	24	23
20	28	27	25	32	33	33
30	30	29	28	43	44	42
40	32	31	30	55	56	56
50	34	33	32	67	68	67
60	37	35	34	77	74	76
70	38	37	36	86	88	87

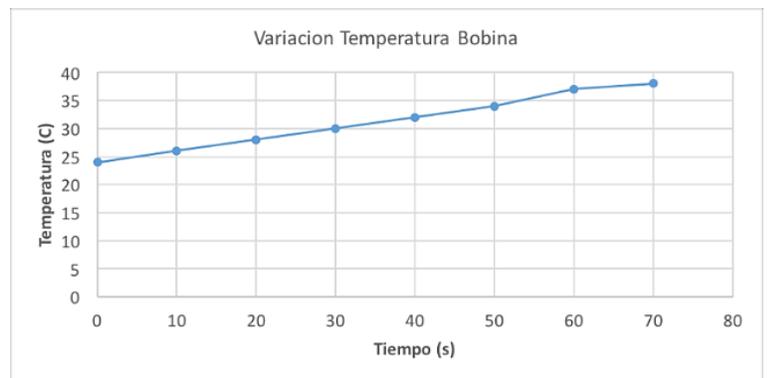


Figura 8. Promedio de Temperatura vs. Tiempo en funcionamiento de Bobinas.

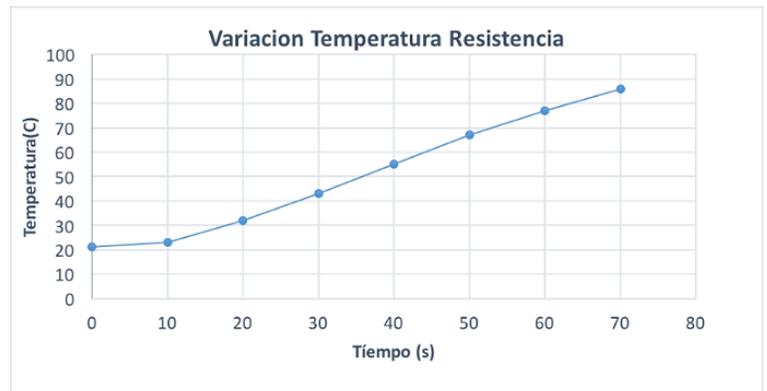


Figura 9. Promedio de Temperatura vs. Tiempo en funcionamiento de Resistencias.

Se realizaron múltiples pruebas con diferentes porcentajes de las diferentes sustancias y se elaboraron tablas comparativas y así escoger el mejor liquido de suspensión para el FEF, para ello, se dio una calificación de 1 a 5 a cada una de las muestras, siendo 1 muy malo y 5 muy bueno teniendo como variables la fluidez, resequead y adherencia en el contenedor.

Tabla 3. *Calificación preliminar de diferentes muestras surfactantes*

#	Alcohol	Agua	Sustancia	Nota
	Isopropílico (%)	destilada (%)	adicional (%)	
1	50	50	---	3
2	20	80	---	2
3	100		---	3
4	60	40	---	3
5	40	60	---	2
6	---	100	---	2
7	30	---	70	3
8	60	---	40	3
9	10	---	90	4

Se escogió la composición N.º 9, ya que mostró los resultados más satisfactorios en cuanto a los ítems evaluados, por esa razón se repitió la prueba con mayor detalle y se pasó de una duración de 5 horas a una duración del experimento de 24 horas.

Tabla 4. *Calificación final de la muestra N.º 9 en 4 pruebas diferentes*

Ítem	# 1	# 2	# 3	# 4
Fluidez	4	4	4	4
Resequedad	3	2	3	2
Adherencia	3	3	3	4

Se determina que el factor más estable es el de fluidez, seguido por el de adherencia y, finalmente, resequedad, siendo este último una variable crítica, al mostrar resultados no satisfactorios. Los valores considerados importantes se anexan en la Tabla 5.

Tabla 5. *Principales valores obtenido durante el trabajo*

	Teórico	Práctico
Inductancia	0,6 mH	0.6mH
Fuerza magnética	---	5,2 N
Corriente	4 A	3,99 A
Resistencia total	3,24 Ω	3,2 Ω

Conclusiones

Aunque el prototipo final es funcional, existen muchos ítems que se deben mejorar en futuras versiones, el consumo eléctrico es demasiado alto, se debe encontrar una relación entre el número de vueltas y el calibre optima, para que disminuya la corriente que circula a través de él sin comprometer la fuerza generada.

Es necesario realizar una programación más estructurada del Arduino, ya que se debe probar y modificar cada configuración varias veces hasta lograr obtener el resultado visual esperado, aunque se debe tener en cuenta que siempre existirá una respuesta aleatoria en el movimiento del FEF.

Se plantea cambiar los elementos de conmutación, pasando de módulos relé a transistores MOSFET de potencia, con el fin controlar analógicamente las corrientes que circulan a través de cada bobina.

La fuerza de cada electroimán sobrepasa la fuerza mínima necesaria para mover el FEF, pero se podría decir que es la necesaria, ya que permite visualizar una mayor aceleración en el movimiento del FEF dentro de la pantalla.

Referencias

- Koelman, Z. (s.f.). Where digital meets nature [Página Web]. *Ferrollic*. Recuperado de <http://www.ferrollic.com/>
- Xicon. (s.f.). Cement Power Resistor (RoHS Compliant). Recuperado de <http://www.mouser.com/catalog/specsheets/XC-600041.pdf>