

# Informe IEEE Levitador Magnético

1<sup>ro</sup> Villegas González Alejandro  
 6° 2° AVC  
*Comisión C*  
 alejandrovillegasgonzalez@impatrq.com

4<sup>to</sup> Gonzalez Camiscia Santiago  
 6° 2° AVC  
*Comisión C*  
 santiagogonzalezcamiscia@impatrq.com

2<sup>do</sup> Romero Julian  
 6° 2° AVC  
*Comisión B*  
 julianromero@impatrq.com

5<sup>to</sup> Keller Mateo  
 6° 2° AVC  
*Comisión C*  
 mateokeller@impatrq.com

3<sup>ro</sup> Erbino Renzo  
 6° 2° AVC  
*Comisión C*  
 renzoerbino@impatrq.com

6<sup>to</sup> Gonzalez Paurailly Matias  
 6° 2° AVC  
*Comisión C*  
 matiasgonzalezpaurailly@impatrq.com

**Abstract**—En este informe se detalla el desarrollo técnico llevado a cabo, se analiza la metodología y conceptos físicos utilizados en el proyecto tales como el PWM y PID, la manera en la que conseguimos la posición del objeto que levita y como la controlamos mediante el código y se demuestra gráficamente los procesos que suceden en el circuito tanto eléctrica como digitalmente.

## I. INTRODUCCIÓN

En este informe estaremos detallando el funcionamiento y desarrollo de nuestro proyecto, un levitador magnético por repulsión. Este es un dispositivo que utiliza la fuerza de campos magnéticos para suspender un objeto en el aire sin contacto físico. En este utilizamos los principios de electromagnetismo y corrientes eléctricas, PWM (Pulse Width Modulation/Modulación por Ancho de Pulso) y PID (Proporcional-Integral-Derivativo) como un sistema de control para regular constantemente la tensión media inducida en un electroimán en tiempo real y un circuito de potencia que nos permite tener la suficiente alimentación para el bobinado. Demostraremos como se realizó y acabó el proyecto a través de los conocimientos que obtuvimos en el proceso y los problemas que tuvimos que superar, los componentes y su descripción, la configuración de estos y el código que utilizamos para lograr que cada etapa del circuito funcione adecuadamente. En la sección de referencias del documento se incluirá un enlace al repositorio de Github del proyecto, donde encontrarán información más específica sobre algunas de las distintas categorías del contenido de este informe.

## II. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL

### A. Diagrama en bloques

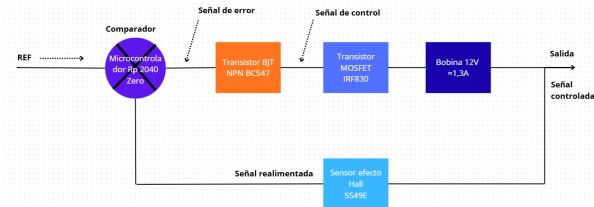


Fig. 1: Diagrama en bloques del circuito

### B. Diagrama de código

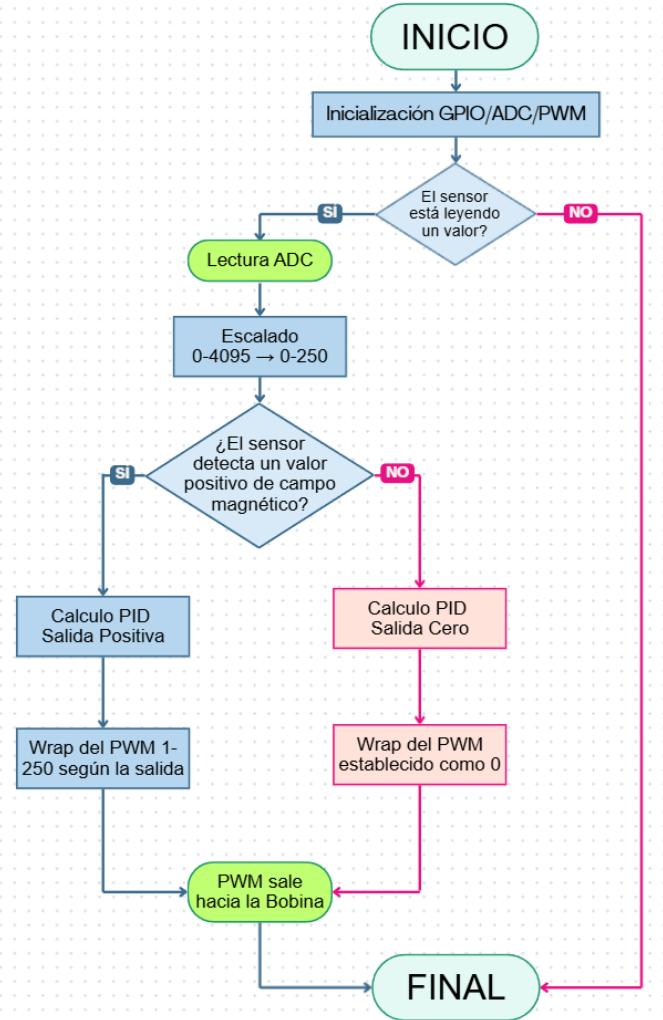


Fig. 2: Diagrama de código del circuito

### C. Descripción de circuitos

- Microcontrolador RP2040 Zero: Este Microcontrolador es el principal encargado de recibir y procesar los datos

provenientes del sensor de efecto Hall. El valor sensado entra a ADC1, donde la computadora lee un valor de 0-4095 y pasa por una serie de cálculos con un sistema de control PID con el objetivo de darnos un resultado en permanente oscilación cercano a un setpoint indicado (126). Este resultado está escalado en valores de 0-250 y se establece como el wrap de la salida PWM0.

- Diodo HFA15TB60: Evita el daño inmenso que puede ser generado al MOSFET a causa del alto pico de tensión inversa que se genera cuando se apaga la bobina, proporcionando un camino más seguro para que se disipe esa gran cantidad de energía.
- Transistor BJT (Driver Inversor): Invierte la señal PWM0 del microcontrolador, activándose cuando le entra una señal desde PWM0 y apagando el MOSFET, y permitiendo la entrada de la tensión de VCC al Gate del MOSFET cuando este no recibe ninguna señal, de tal modo que aísla al microcontrolador de la potencia.
- Transistor MOSFET: Este MOSFET de potencia es el componente que soporta el alto voltaje (VCC) del circuito y actúa como un interruptor electrónico para la bobina. La señal PWM0 lo controla, y cuando este se prende y se apaga hace lo mismo con la bobina, conectando su paso a GND.
- Sensor de efecto Hall: Se encarga de sensar el campo electromagnético generado por la bobina y proporciona un valor de tensión analógico que varía entre 0V-3.3V que es leído por el ADC1 del microcontrolador. Cuando este no recibe ningún campo magnético otorga un valor equivalente a la mitad de la tensión de alimentación, en este caso, 1.67V.
- Bobinado: Genera un campo magnético variable según la tensión que se le otorga por PWM0 que es leído por el sensor de efecto Hall y a su vez permite la repulsión con el objeto acoplado a los imanes de neodimio.

### III. ALCANCE LOGRADO

Durante el transcurso de este proyecto hemos logrado armar un electroimán capaz de generar un campo electromagnético lo suficientemente potente como para poder repeler una pieza unida a un imán de neodimio; programar un código [3] capaz de generar una salida de PWM(Pulse Width Modulation), basándose en una señal de referencia (Setpoint) y una señal sensada por el sensor de efecto hall siguiendo un sistema de control PID(Proporcional-Integral-Derivativo); diseñar un circuito capaz de controlar la potencia de la bobina a través de la tensión media generada por el código (PWM0), y posteriormente, utilizando la CNC pasarlo a una placa de cobre, perforarla y soldar los componentes; crear una base de madera [4] que pueda sostener de manera vertical a la bobina y al sensor, contando también con un tubo de plástico transparente fijado a la parte superior del electroimán el cual impide que la pieza [5] se intente dar vuelta; realizar pruebas, no solo del funcionamiento de la etapa de potencia y del

código sino también de todo al mismo tiempo, verificando si la tensión media de la bobina es la indicada por el código y poder solucionar los problemas que nos encontramos en estas pruebas.

El alcance logrado ha llegado a ser el que nos propusimos como objetivo final tras varios replanteamientos, con lo que logramos el funcionamiento de un levitador electromagnético pero no sin reducir la propuesta de tres módulos de dos etapas de potencia, un bobinado y un sensor cada uno, con la capacidad de lograr que el objeto levitado permanezca totalmente estático en el aire. Por otro lado, pudimos realizar una placa física [6] con el circuito, pero al no suceder lo que debía esta fue descartada e hicimos nuevamente una simulación en un protoboard [7] con otro esquemático [8] y PCB [9], cuyo funcionamiento cumplía con el establecido originalmente.

### IV. CONCLUSIONES

Con la finalización de este proyecto, alcanzamos a aprender la integración eficaz de los sistemas de control PWM y PID, también siendo utilizados los principios de electromagnetismo, cálculos matemáticos complejos tales como las integrales y derivadas que fueron clave para la realización del código e investigamos sobre las propiedades de los cables de cobre, cálculo de impedancia por número de vueltas en una bobina y la máxima corriente capaz de pasar a través de esta.

Logramos entender que el proyecto podría haber funcionado sin tener que encontrarnos con la gran cantidad de problemas que surgieron a medida que trabajábamos con el proyecto, pero la inmensa obtención de aprendizaje por la que pasamos no hubiera sido posible sin estos, provocando así que la solución de los mismos ayude a encaminarnos hacia el correcto funcionamiento del proyecto. A esto se le agrega que el tiempo que dedicamos para el desarrollo del proyecto fue limitado, causando que no hayamos podido realizar la visión original que teníamos para este, si no una que se nos ocurrió en búsqueda de solucionar los errores. Las principales ideas que nos vimos obligados a descartar por la falta de tiempo fueron la de una página web [10] en la que uno controlaba el ángulo de un avión, y esto se veía reflejado en la distancia a la que el objeto a levitar lo hacía, y que hubieran 3 módulos con la configuración actual, en vez de solo uno, con esto nos referimos a 3 bobinas, sensores y una etapa de potencia en cada una.

En esta etapa final del proyecto concluimos que a pesar de los problemas atravesados el proyecto cumple con su objetivo original integrando los conocimientos de varias áreas de taller y aula, dejando en claro las bases sentadas para la mejora y optimización del mismo.

## V. ANEXOS

### [1] Código del proyecto

```

1 #include <stdio.h>
2 #include <math.h>
3 #include <stdlib.h>
4 #include "pico/stdlib.h"
5 #include "hardware/adc.h"
6 #include "hardware/pwm.h"
7
8 // ===== Parámetros PID =====
9 float Kp = 1.4, Ki = 0.06, Kd = 0.8;
10 float dt = 0.1; // intervalo de control en segundos
11
12 // ===== Función PID =====
13 float PID(float setpoint, float y1) {
14     static float prev_error = 0.0;
15     static float integral = 0.0;
16     static float error = 0.0;
17     static float derivative = 0.0;
18
19     error = setpoint - y1;
20     integral += error * dt;
21     derivative = (error - prev_error) / dt;
22     float u1 = Kp * error + Ki * integral + Kd * derivative;
23
24     if (integral > 250) integral = 250;
25     if (integral < -250) integral = -250;
26
27     // Saturar salida (0-250 para PWM)
28     if (u1 > 250) u1 = 250;
29     if (u1 < 0) u1 = 0;
30
31     prev_error = error;
32     printf("Error=%f Integral=%f Derivativo=%f\n", error, integral, derivative);
33     printf("-----\n");
34     return u1;
35 }
36
37 int main() {
38     stdio_init_all();
39
40     // ===== Configurar ADC =====
41     adc_init();
42     adc_gpio_init(27); // GPIO27 -> ADC1 (Sensor 1)
43
44     // ===== Configurar PWM =====
45     gpio_set_function(0, GPIO_FUNC_PWM); // GPIO0 salida 1 PWM
46     uint slice_num = pwm_gpio_to_slice_num(0);
47     pwm_set_wrap(slice_num, 250); // rango 0-250
48     pwm_set_clkdiv(slice_num, 250); // Divisor de reloj
49     pwm_set_enabled(slice_num, true);
50
51     // ===== Bucle principal =====
52     while (true) {
53         // Leer setpoint (ADC0)
54
55         float setpoint = 126.0; // Valor fijo para pruebas
56
57         adc_select_input(1);
58         float raw_y1 = adc_read();
59         float y1 = (raw_y1 / 4095.0f) * 250.0f;
60
61         // Calcular PID
62         float u1 = PID(setpoint, y1);
63
64         // Aplicar al PWM
65         pwm_set_gpio_level(0, (uint16_t)u1);
66
67         // Debug por USB
68         printf("SP=%f Entrada=%f Salida=%f\n", setpoint, y1, u1);
69         printf("Sensado=%f\n", raw_y1);
70
71         sleep_ms(100); // 100 ms → dt = 0.1s
72     }
73 }
```

Fig. 3: Código GPIO, PWM y PID

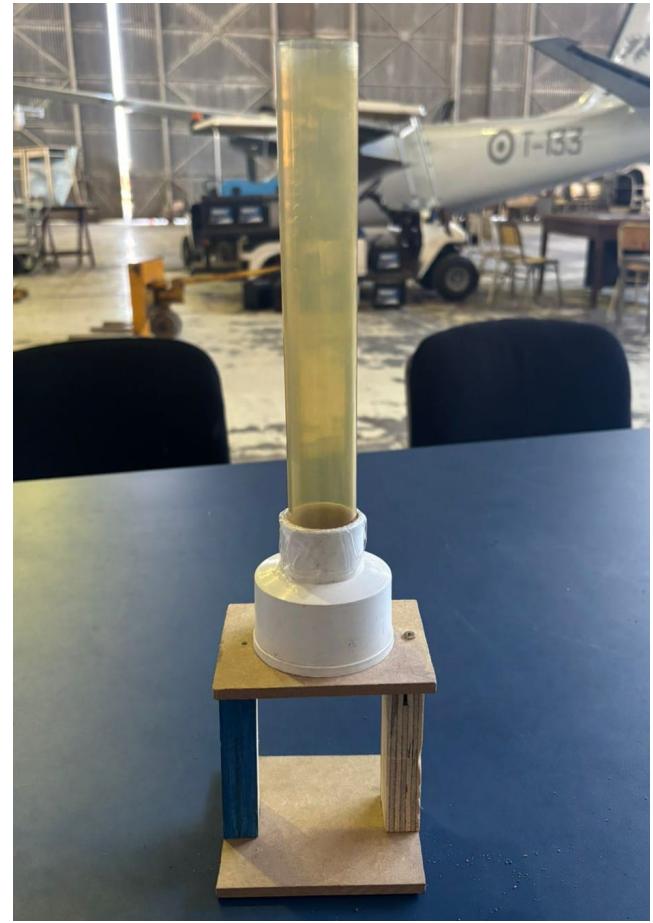


Fig. 4: Base de madera y cilindro de acrílico



Fig. 5: Objeto con imanes de neodimio

### [2] Parte física del proyecto

### [3] Hardware del proyecto

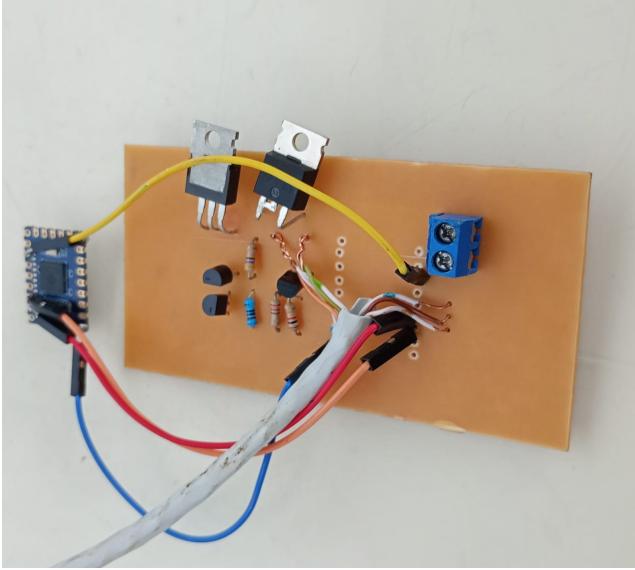


Fig. 6: Placa de cobre con circuito original

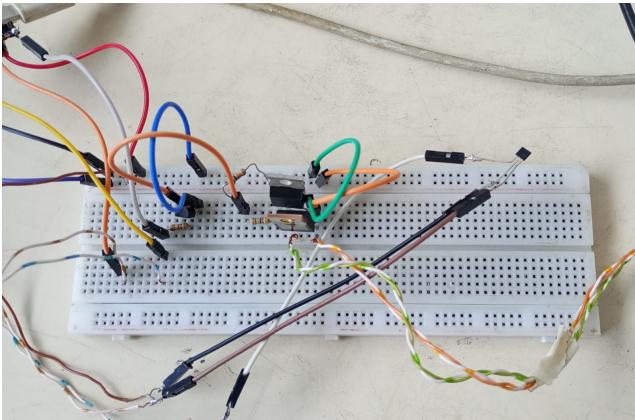


Fig. 7: Protoboard con el circuito final

#### [4] Esquemático del proyecto

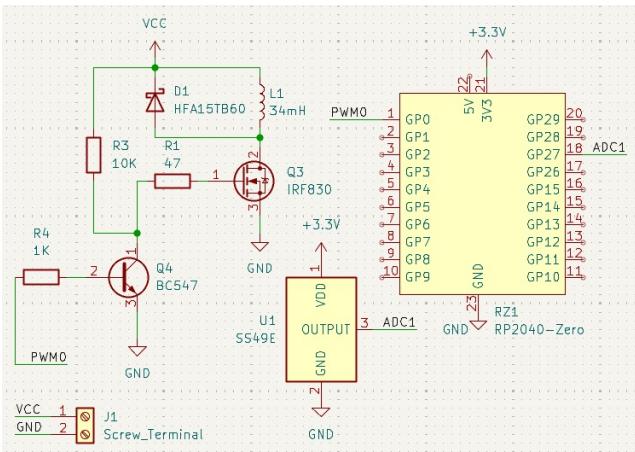


Fig. 8: Esquemático de la placa

#### [5] PCB del proyecto

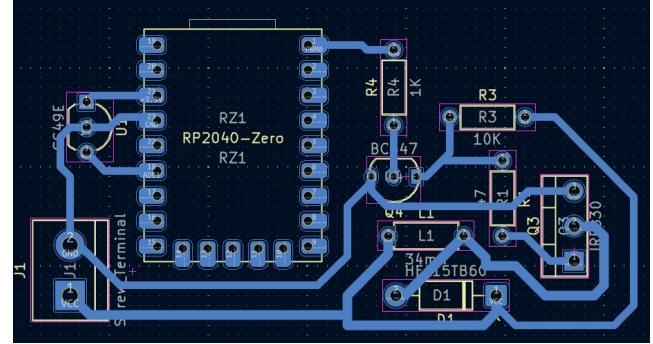


Fig. 9: PCB de la placa

#### [6] Sitio Web



Fig. 10: Vista principal sitio web

#### REFERENCIAS

- [1] Repositorio Github del Proyecto. Disponible en: <https://github.com/Alexandrou4/Levitador-Magnetico.git>
- [2] Waveshare, RP2040-Zero Wiki. Disponible en: <https://www.waveshare.com/wiki/RP2040-Zero>
- [3] Proyectos Led, Review: Levitador Magnético por repulsión. Disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=Knq\\_CIXLR6Y](https://www.youtube.com/watch?v=Knq_CIXLR6Y)
- [4] Proyescitos Led, Levitador Magnético por repulsión, casero y fácil de hacer. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=byb4UZXSBGs>
- [5] Univisión, ¿Cómo funciona el tren maglev?. Disponible en: <https://www.univision.com/explora/como-funciona-el-tren-maglev>
- [6] Prueba temprana del levitador magnético. Disponible en: [https://drive.google.com/file/d/1gNsFrL\\_911NWWkr9Zx\\_c-6yJ-ha\\_igtY/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1gNsFrL_911NWWkr9Zx_c-6yJ-ha_igtY/view?usp=sharing)