

**Universidad  
Autónoma  
Metropolitana**



Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

**Ciencias Básicas e Ingeniería**

**Ingeniería Electrónica**

**Proyecto de Investigación**

**Diseño y construcción de un levitador  
magnético, su instrumentación  
y controlador PID**

Julio Antonio Gutiérrez Domínguez  
208335281

**Asesores:**

Jesús Ulises Liceaga Castro

Roberto Alfonso Alcántara Ramírez

Trimestre 19-O

7 de Mayo del 2020

Yo, Jesús Ulises Liceaga Castro, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.

Yo, Roberto Alfonso Alcántara Ramírez, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.

Yo, Julio Antonio Gutiérrez Domínguez, doy mi autorización a la Coordinación de Servicios de Información de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.

# Índice

PAG.

## Contenido

|  |    |
|--|----|
| Resumen.....                                 | 1  |
| Introducción .....                           | 2  |
| Antecedentes.....                            | 3  |
| Justificación .....                          | 4  |
| Objetivo general .....                       | 5  |
| Objetivos particulares .....                 | 5  |
| Capítulo I: Conceptos .....                  | 6  |
| Magnetismo.....                              | 6  |
| Flujo magnético .....                        | 6  |
| Inductancia .....                            | 6  |
| Capítulo II: Construcción del gabinete ..... | 8  |
| Diseño.....                                  | 8  |
| Capítulo III: Levitadores Magnéticos.....    | 10 |
| Tipos de levitadores magnéticos .....        | 10 |
| Electroimán.....                             | 11 |
| Capítulo IV: Sensores .....                  | 13 |
| Sensor TCRT5000 .....                        | 13 |
| Sensor ultrasónico de distancia US-016 ..... | 14 |
| Circuito acondicionador del sensor.....      | 16 |
| Capítulo V: Etapa de Potencia .....          | 19 |
| Capítulo VI: Fuentes de voltaje.....         | 21 |
| Fuente de voltaje para el electroimán .....  | 21 |
| Fuente de voltaje para el sensor.....        | 23 |
| Capítulo VII: Sistemas de control .....      | 26 |
| Controlador proporcional.....                | 26 |
| Controlador PID .....                        | 27 |
| Pruebas y conclusiones .....                 | 29 |

|                      |    |
|----------------------|----|
| Referencias .....    | 31 |
| Entregables .....    | 31 |
| Hojas de datos ..... | 34 |

## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Gabinete ensamblado.....  | 9  |
| Figura 2. Levitador de atracción. ....  | 10 |
| Figura 3. Levitador de repulsión. ....  | 10 |
| Figura 4. Electroimán. ....   | 12 |
| Figura 5. Diagrama del circuito acondicionador de la señal del sensor.....                                      | 17 |
| Figura 6. Circuito para acondicionar la señal de salida del sensor. ....  | 18 |
| Figura 7. Diagrama del circuito chopper de potencia. ....   | 19 |
| Figura 8. Circuito tipo chopper de potencia.....  | 20 |
| Figura 9. Circuito de la fuente de voltaje para el electroimán .....  | 22 |
| Figura 10. Circuito de potencia tipo chopper y circuito de la fuente de voltaje. ....                           | 22 |
| Figura 11. Diagrama del circuito de la fuente del sensor.....   | 23 |
| Figura 12. Circuito para obtener los voltajes requeridos (12V, -12V y 5V) .....                                 | 24 |
| Figura 13. Circuitos de la fuente de voltaje y acondicionador de la señal del sensor .....                      | 25 |
| Figura 14. Sistema de control básico R es la entrada, E el error, U es la variable de control y la salida. .... | 26 |
| Figura 15. Diagrama del controlador PID. ....   | 27 |
| Figura 16. Diagrama de la planta.....   | 28 |
| Figura 17. Sistema magnético terminado. ....  | 30 |

## Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Características de los materiales. ....                   | 8  |
| Tabla 2. Medidas del gabinete.....                                 | 8  |
| Tabla 3. Calibres de alambre magneto y corriente que soportan..... | 11 |
| Tabla 4. Mediciones sensor óptico TCRT5000. ....                   | 14 |
| Tabla 5. Mediciones sensor ultrasónico de distancia US-016. ....   | 16 |

# Índice de gráficas

|   |    |
|---|----|
| Gráfica 1. Caracterización sensor TCRT500. ....                         | 14 |
| Gráfica 2. Caracterización sensor ultrasónico de distancia US-016.....  | 16 |
| Gráfica 3. Pendiente de la caracterización del sensor ultrasónico. .... | 17 |

---

# Resumen

## Capítulo I

En este capítulo se hace una breve explicación de lo que es el magnetismo y algunos conceptos como el flujo magnético, inductancia y los diferentes tipos de materiales magnéticos.

## Capítulo II

En esta parte se muestran los pasos que se siguieron para la construcción del gabinete en donde se montara el sistema magnético.

## Capitulo III

En esta parte se habla sobre los tipos de levitadores magnéticos y se muestra las pruebas que se realizaron para poder construir el electroimán que se necesitaba para lograr el funcionamiento correcto del sistema magnético.

## Capitulo IV

En este capítulo se muestran las pruebas que se realizaron a dos diferentes sensores y así poder seleccionar el que tenía un mejor funcionamiento para la realización del proyecto.

## Capítulo V

En esta parte se muestra el circuito de potencia que se realizó para el funcionamiento del electroimán.

## Capítulo VI

Se muestran los pasos que se realizaron para hacer las fuentes de voltaje requeridas para lograr que los circuitos y el electroimán funcionaran de una forma adecuada.

## Capitulo VII

En este capítulo se hace una breve explicación de los sistemas de control y se muestra el sistema de control requerido para poder controlar el sistema magnético.

---

# Introducción

El magnetismo es la propiedad de los materiales de atraer objetos como el hierro, cobalto y el níquel.

Gracias al estudio de este fenómeno, el hombre se pudo dar cuenta de que no solo existían imanes de forma natural, sino que también se podían construir imanes artificiales (electroimanes); esto debido a la relación que hay entre los campos eléctricos y los campos magnéticos.

Uno de los usos del electromagnetismo son los levitadores magnéticos, en los cuales se logra que un objeto quede flotando debido a la acción del campo magnético el cual se opone a la fuerza de gravedad.

Hay dos tipos de levitadores magnéticos: de repulsión y de atracción.

En la actualidad hay muchos usos para los levitadores magnéticos, como los rodamientos magnéticos y en la fisión nuclear.

Pero uno de los principales es el transporte, ya que se ha utilizado para los trenes de levitación magnética como los de Alemania o Japón los cuales pueden llegar a alcanzar velocidades muy elevadas. La velocidad más alta que ha alcanzado unos de estos trenes ha sido de 603 km/h.

En este proyecto se realizará el diseño de un levitador magnético junto con la instrumentación necesaria (actuador y sensor) para su operación, junto con la construcción de un controlador PID analógico para su posterior control.

Para la fabricación de todo el sistema magnético se construirá un electroimán, el cual funcionará junto con la pieza a levitar como la planta o proceso.

Se harán circuitos como la etapa de potencia para el funcionamiento del electroimán y se utilizará modulación por ancho de pulso (PWM) para el funcionamiento del electroimán. Se harán pruebas a distintos sensores de distancia y se elegirá el más adecuado en función de su rango de operación y precisión.

Debido a que los sistemas de levitación magnética son inestables en su versión de atracción es que se utilizará un controlador, ya que uno de los principales objetivos del control es hacer estables los sistemas.

Si este proyecto se logra desarrollar con éxito se podría utilizar las configuraciones de control proporcional, integral y derivativo.

---

# Antecedentes

En el trabajo de tesis “Diseño de un sistema de levitación magnética” [1], realizado por Magali Nohemí Delgado Santana, se hace un levitador magnético controlado con un PID pero este es implementado mediante un programa computacional (LabVIEW). La diferencia con la presente propuesta es que, el controlador PID se implementará de manera analógica utilizando amplificadores operacionales.

En el trabajo “Construcción y control de un levitador magnético” [2], para obtener el grado de maestría, se presenta un proyecto en el cual se hizo un levitador magnético pero este se controló con una acción Proporcional-Derivativa (PD). La diferencia con este proyecto es que se utilizará un controlador PID y también se usarán otro tipo de sensores para medir la distancia del objeto levitante.

En el siguiente trabajo de tesis “Sistema de levitación magnética controlado por FPGA” [3], se realizó un levitador magnético con un controlador PID, pero en este proyecto se utilizan FPGA para hacer el controlador y se utilizan programas computacionales (LabVIEW, MatLab, Simulink), tarjetas programables (Arduino, Spartan-3e) y tarjetas de adquisición de datos para poder observar lo que sucede. La diferencia con este proyecto es que solo se utilizarán amplificadores operacionales para realizar el controlador y no se usarán tarjetas ni programas para tratar de que sea lo más económico posible y si funciona se puedan fabricar más.

---

# Justificación

El diseño de un levitador magnético el cual pueda ser controlado mediante una configuración de control PID es con el fin entender de una mejor manera el funcionamiento del controlador y poder implementar las diferentes configuraciones (P, PI, PD) que lo forman.

El prototipo que se va a realizar tiene funciones de investigación y docentes para las UEAS de laboratorio de control y control digital, con el fin de apoyar a los alumnos para que puedan observar de una forma real como es el funcionamiento un controlador PID, y poder observar lo que sucede al mover las diferentes partes del mismo.

En el mercado existen muchos prototipos de levitadores para fines académicos los cuales son muy caros; sin embargo, el área de control de procesos del departamento de electrónica tiene como uno de sus múltiples objetivos construir prototipos para pruebas de algoritmos de control y el apoyo a actividades docentes.

El prototipo de levitador al ser eficiente y económico se podría llegar a modificar para funcionar de forma digital y poder usar control digital para su funcionamiento y para hacer investigación sobre el funcionamiento de otros algoritmos de control más complejos y observar su comportamiento sobre los sistemas magnéticos.

---

# Objetivo general

Diseñar y construir un levitador magnético cuyo funcionamiento sea controlado mediante una configuración de control PID.

## Objetivos particulares

- 1.- Diseñar y construir un electroimán con las características necesarias para generar un campo magnético capaz de hacer levitar un objeto.
- 2.- Realizar pruebas y mediciones (caracterización) para determinar la fuerza que ejerce el electroimán sobre diferentes cuerpos magnéticos, así como de otros elementos susceptibles de ser atraídos por el electroimán.
- 3.- Determinar el tipo de sensor de posición idóneo para medir la distancia entre el electroimán y el objeto levitante, en función de la caracterización del electroimán.  
Diseñar y armar los circuitos de potencia necesarios para ajustar la energía de funcionamiento del levitador.
- 4.- Implementar un controlador PID con amplificadores operacionales para controlar el levitador.
- 5.- Realizar el reporte con la memoria de diseño y los resultados tanto del levitador sin controlar como los resultados del proceso bajo control.
- 6.- Realizar el reporte con la memoria de diseño y los resultados tanto del levitador sin controlar como los resultados del proceso bajo control.

# Capítulo I: Conceptos

## Magnetismo

El magnetismo es un fenómeno que presentan algunos metales como el hierro, cobalto y níquel para atraer o repeler objetos [1].

Existen dos tipos de imanes los naturales y los que están hechos por el hombre (electroimanes).

Los imanes presentan un polo norte y un polo sur y las líneas de campo magnético salen de un polo y entran por el otro, los polos opuestos se atraen y los polos iguales se repelen.

## Flujo magnético

EL flujo magnético esta medido en Webber, y esta unidad de medida es el total de campo magnético que pasa por una superficie y se obtiene mediante la siguiente formula:

$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

FLUJO MAGNETICO= B que es el vector del campo magnético y S es el vector de la superficie.

Cuando el campo magnético es representado en formas de líneas de campo se obtiene una ecuación más sencilla:

$$\Phi = BA$$

Los electroimanes son imanes artificiales; los cuales tienen una bobina; esta tiene un núcleo por el cual se hace pasar una corriente eléctrica para generar un campo magnético similar al de un imán natural.

## Inductancia

La inductancia es la relación que tiene el flujo magnético y la intensidad de corriente que circula por la bobina, se mide en henrios y se obtiene con la siguiente expresión:

$$L = \frac{\Phi N}{I}$$

N es el número de vueltas de la bobina.

I es la corriente que circula por la bobina.

$\Phi$  es el flujo magnético.

También existe otra ecuación con la cual se puede obtener la inductancia que es:

$$L = \frac{\mu N^2 A}{l}$$

$\mu$  es la permeabilidad magnética absoluta del núcleo de la bobina.

$N$  es el número de espiras de la bobina.

$A$  es la sección de área transversal de la bobina en metros cuadrados.

$l$  es la longitud de la bobina en metros.

Existen diferentes tipos de materiales magnéticos los cuales se clasifican en:

**Materiales ferromagnéticos.** Este tipo de materiales presentan magnetismo cuando se ponen en presencia de un campo magnético externo y siempre van en la misma dirección que al campo magnético inducido.

**Materiales paramagnéticos.** Este tipo de materiales pueden ser atraídos por un campo magnético, pero no presentan magnetización, aunque se pongan en presencia de un campo magnético, aunque sea muy intenso.

**Materiales diamagnéticos.** Estos materiales no son atraídos por campos magnéticos ni presentan magnetización.

# Capítulo II: Construcción del gabinete

## Diseño

Para realizar el gabinete para el sistema se tomaron en cuenta varios factores, ya que se deseaba que el gabinete fuera de un material que no se viera afectado por el campo magnético.

De material resistente, liviano y transparente para poder observar el proceso ya que se pretende usar este dispositivo como método didáctico.

| Material | Tipo de material | Resistencia | Peso   | Translucido |
|----------|------------------|-------------|--------|-------------|
| Madera   | Diamagnético     | Alta        | Pesado | No          |
| Aluminio | Diamagnético     | Media       | Ligero | No          |
| Cristal  | Diamagnético     | Baja        | Ligero | Si          |
| Acrílico | Diamagnético     | Alta        | Ligero | Si          |

*Tabla 1. Características de los materiales.*

Debido a las características mostradas en la tabla 1 se llegó a la conclusión de que el acrílico era la mejor opción para realizar el gabinete para el sistema magnético; ya que el gabinete no se ve afectado por el campo magnético generado por la bobina, sería liviano, resistente y se podría observar el proceso a través de él. Con eso ya se pudo realizar el diseño el cual tiene las medidas que se listan en la tabla 2:

| Part list |              |                        |                  |                 |
|-----------|--------------|------------------------|------------------|-----------------|
| QTY       | STOCK NUMBER | PART NUMBER            | DESCRIPTION      | REVISION NUMBER |
| 1         | 1.01         | 1.01 tapa              | acrilico cristal | 6.0 mm          |
| 2         | 1.02         | 1.02 lat 1             | acrilico cristal | 6.0 mm          |
| 1         | 1.03         | 1.03 respaldo          | acrilico cristal | 6.0 mm          |
| 1         | 1.04         | 1.04 piso con registro | acrilico cristal | 6.0 mm          |
| 2         | 1.05         | 1.05 lat ch 1          | acrilico cristal | 6.0 mm          |
| 1         | 1.06         | 1.06 piso              | acrilico cristal | 6.0 mm          |

*Tabla 2. Medidas del gabinete.*

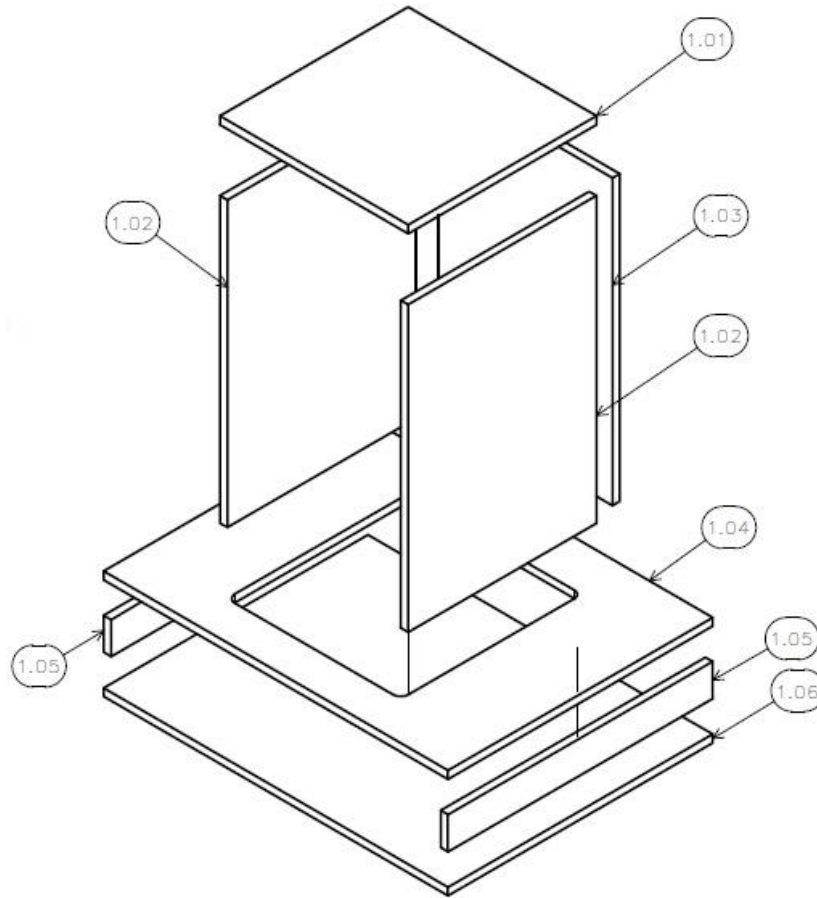


Figura 1. Gabinete ensamblado.

Este fue el diseño original que se realizó, pero se le agrego en la parte superior una base igual a la base inferior.

# Capítulo III: Levitadores Magnéticos

## Tipos de levitadores magnéticos

Para realizar un levitador magnético se requiere de un electroimán para generar un campo magnético a través de una corriente eléctrica y con esto poder lograr que un objeto quede levitando debido al campo magnético generado con el electroimán, y así pueda equilibrar la fuerza de gravedad del objeto levitante [2].

Existen dos tipos de levitadores magnéticos:

Levitador magnético de atracción. En este tipo de levitador el campo magnético atrae al objeto que se desea hacer levitar, este proceso es inestable como se muestra en la figura 2.

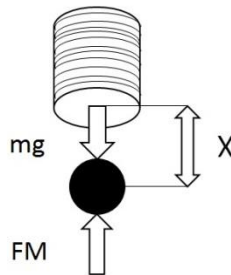


Figura 2. Levitador de atracción.

Levitador magnético de repulsión. En este tipo de levitador el campo magnético repele al objeto que se desea hacer levitar, este proceso es estable, mismo que se puede apreciar en la figura 3.

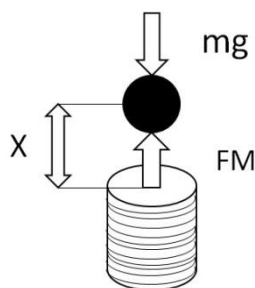


Figura 3. Levitador de repulsión.

## Electroimán

Para la realización del electroimán se utilizó alambre magneto calibre 23 y se le dieron 1500 vueltas, se utilizó este alambre usando una tabla de calibres de alambre magneto, que se puede encontrar en la tabla 3, en la cual se observó que ese era el calibre requerido para la corriente que necesitaba el electroimán para funcionar de la forma que se requiere la cual es 4A.

| Código AWG | Diametro del conductor (mm) | Ohmios por kilómetro | Amperaje máximo para distancias cortas | Amperaje máximo para distancias largas |
|------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| 0000       | 11.684                      | 0.16072              | 380                                    | 302                                    |
| 000        | 10.40384                    | 0.202704             | 328                                    | 239                                    |
| 00         | 9.26592                     | 0.255512             | 283                                    | 190                                    |
| 0          | 8.25246                     | 0.322424             | 245                                    | 150                                    |
| 1          | 7.34822                     | 0.406392             | 211                                    | 119                                    |
| 2          | 6.54304                     | 0.512664             | 181                                    | 94                                     |
| 3          | 5.82676                     | 0.64616              | 158                                    | 75                                     |
| 4          | 5.18922                     | 0.81508              | 135                                    | 60                                     |
| 5          | 4.62026                     | 1.027624             | 118                                    | 47                                     |
| 6          | 4.1148                      | 1.295928             | 101                                    | 37                                     |
| 7          | 3.66522                     | 1.634096             | 89                                     | 30                                     |
| 8          | 3.2639                      | 2.060496             | 73                                     | 24                                     |
| 9          | 2.90576                     | 2.598088             | 64                                     | 19                                     |
| 10         | 2.58826                     | 3.276392             | 55                                     | 15                                     |
| 11         | 2.30378                     | 4.1328               | 47                                     | 12                                     |
| 12         | 2.05232                     | 5.20864              | 41                                     | 9.3                                    |
| 13         | 1.8288                      | 6.56984              | 35                                     | 7.4                                    |
| 14         | 1.62814                     | 8.282                | 32                                     | 5.9                                    |
| 15         | 1.45034                     | 10.44352             | 28                                     | 4.7                                    |
| 16         | 1.29032                     | 13.17248             | 22                                     | 3.7                                    |
| 17         | 1.15062                     | 16.60992             | 19                                     | 2.9                                    |
| 18         | 1.02362                     | 20.9428              | 16                                     | 2.3                                    |
| 19         | 0.91186                     | 26.40728             | 14                                     | 1.8                                    |
| 20         | 0.8128                      | 33.292               | 11                                     | 1.5                                    |
| 21         | 0.7239                      | 41.984               | 9                                      | 1.2                                    |
| 22         | 0.64516                     | 52.9392              | 7                                      | 0.92                                   |
| 23         | 0.57404                     | 66.7808              | 4.7                                    | 0.729                                  |
| 24         | 0.51054                     | 84.1976              | 3.5                                    | 0.577                                  |
| 25         | 0.45466                     | 106.1736             | 2.7                                    | 0.457                                  |
| 26         | 0.40386                     | 133.8568             | 2.2                                    | 0.361                                  |
| 27         | 0.36068                     | 168.8216             | 1.7                                    | 0.288                                  |
| 28         | 0.32004                     | 212.872              | 1.4                                    | 0.226                                  |
| 29         | 0.28702                     | 268.4024             | 1.2                                    | 0.182                                  |
| 30         | 0.254                       | 338.496              | 0.86                                   | 0.142                                  |
| 31         | 0.22606                     | 426.728              | 0.7                                    | 0.113                                  |
| 32         | 0.2032                      | 538.248              | 0.53                                   | 0.091                                  |

Tabla 3. Calibres de alambre magneto y corriente que soportan.

El núcleo del electroimán tiene un radio de 1.27cm y una longitud de 11.43cm.

La bobina tiene una resistencia de 12.4Ω.

### Cálculos teóricos de la intensidad de campo magnético y campo magnético generados por el electroimán.

La permeabilidad magnética se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

La permeabilidad relativa del acero inoxidable es aproximadamente de 1.10 y la permeabilidad del aire es  $4\pi \times 10^{-7}$

$$\mu = \mu_r \mu_0 = (1.10)(4\pi \times 10^{-7}) = 1.3823 \times 10^{-6}$$

La intensidad del campo magnético que genera el electroimán es de:

$$H = \frac{iN}{l} = \frac{(4)(1500)}{0.1143} = 52493.43 = 52.49 \times 10^3 \text{ A/m}$$

El campo magnético generado por el electroimán es:

$$B = \frac{\mu NI}{l} = \frac{(1.3823 \times 10^{-6})(1500)(4)}{0.1143} = 72561679.79 = 72.5616 \times 10^6 \text{ T}$$

Estos son los parámetros requeridos para lograr que el electroimán haga levitar un imán de ferrita una distancia aproximada de 4cm.

El objeto que se hizo levitar es un imán con forma de ferrita con forma de dona haciendo uso del electroimán construido que puede apreciarse en la figura 4.



*Figura 4. Electroimán.*

## Capítulo IV: Sensores

Se realizaron pruebas con dos sensores diferentes para ver cuál podría tener un mejor funcionamiento.

Las dos opciones que se tenían eran el sensor ultrasónico de distancia con salida analógica US-016 y el sensor óptico reflectivo TCRT5000.

### Sensor TCRT5000

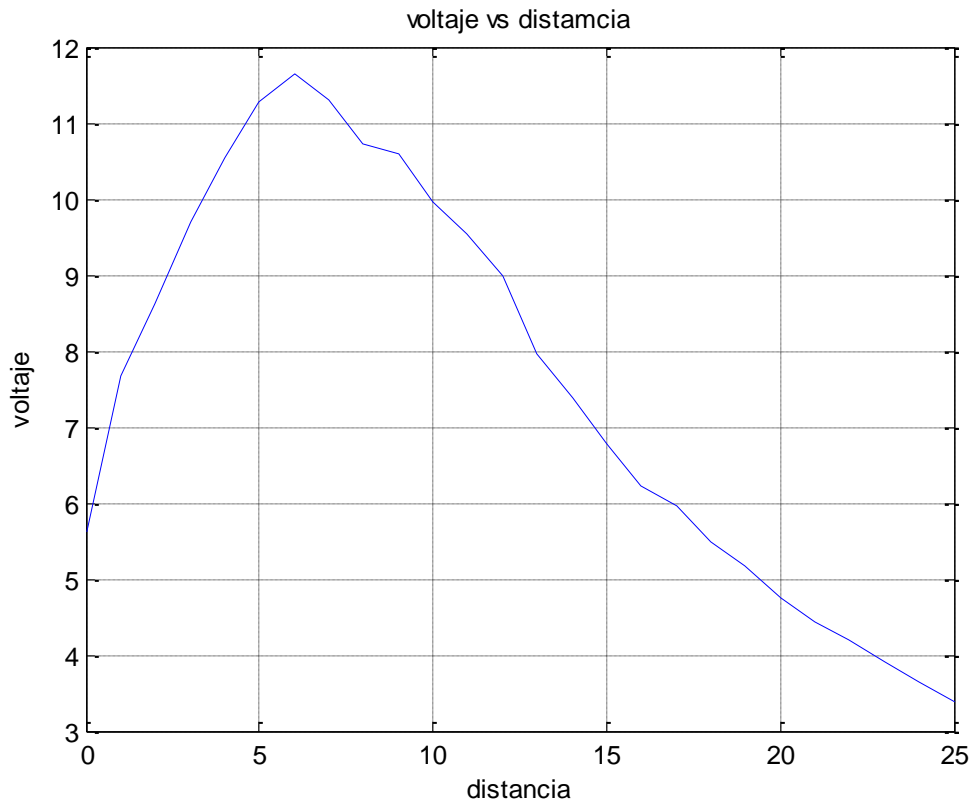
El sensor se polarizo con 15V usando el siguiente circuito, esto debido a que se piensa usar ese mismo voltaje para los demás circuitos requeridos. Se realizaron cuatro mediciones y se observó el comportamiento del sensor, para obtener la gráfica del sensor (apreciar gráfica 1) se obtuvo el promedio de las mediciones realizadas que están registradas en la tabla 4.

#### Caracterización sensor óptico TCRT5000

| Distancia(mm) | Mediciones (V) |       |       |       | Promedio |
|---------------|----------------|-------|-------|-------|----------|
|               | 1              | 2     | 3     | 4     |          |
| 0             | 6.09           | 5.67  | 5.41  | 5.3   | 5.6175   |
| 1             | 7.61           | 7.42  | 7.88  | 7.84  | 7.6875   |
| 2             | 8.58           | 8.52  | 8.65  | 8.8   | 8.6375   |
| 3             | 9.36           | 9.58  | 9.99  | 9.92  | 9.7125   |
| 4             | 10.43          | 10.09 | 10.96 | 10.67 | 10.5375  |
| 5             | 11.19          | 11.43 | 11.41 | 11.05 | 11.27    |
| 6             | 11.89          | 11.62 | 11.94 | 11.15 | 11.65    |
| 7             | 11.71          | 11.4  | 11.25 | 10.83 | 11.2975  |
| 8             | 10.97          | 11.13 | 10.15 | 10.63 | 10.72    |
| 9             | 10.42          | 10.9  | 10.74 | 10.31 | 10.5925  |
| 10            | 10.22          | 9.69  | 10.17 | 9.81  | 9.9725   |
| 11            | 9.76           | 9.84  | 9.53  | 9.05  | 9.545    |
| 12            | 9.16           | 9.28  | 8.83  | 8.68  | 8.9875   |
| 13            | 8.22           | 8.07  | 7.51  | 8.01  | 7.9525   |
| 14            | 7.63           | 7.73  | 6.74  | 7.4   | 7.375    |
| 15            | 7.1            | 6.84  | 6.36  | 6.85  | 6.7875   |
| 16            | 6.7            | 6.32  | 5.4   | 6.46  | 6.22     |
| 17            | 6.04           | 5.85  | 6.01  | 5.96  | 5.965    |
| 18            | 5.53           | 5.36  | 5.63  | 5.5   | 5.505    |
| 19            | 5.21           | 5.07  | 5.26  | 5.18  | 5.18     |
| 20            | 4.85           | 4.66  | 4.69  | 4.81  | 4.7525   |
| 21            | 4.47           | 4.41  | 4.4   | 4.5   | 4.445    |
| 22            | 4.13           | 4.19  | 4.2   | 4.25  | 4.1925   |
| 23            | 3.89           | 3.97  | 3.84  | 3.98  | 3.92     |
| 24            | 3.59           | 3.73  | 3.61  | 3.69  | 3.655    |

|    |      |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|------|
| 25 | 3.37 | 3.48 | 3.33 | 3.34 | 3.38 |
|----|------|------|------|------|------|

Tabla 4. Mediciones sensor óptico TCRT5000.



Gráfica 1. Caracterización sensor TCRT500.

## Sensor ultrasónico de distancia US-016

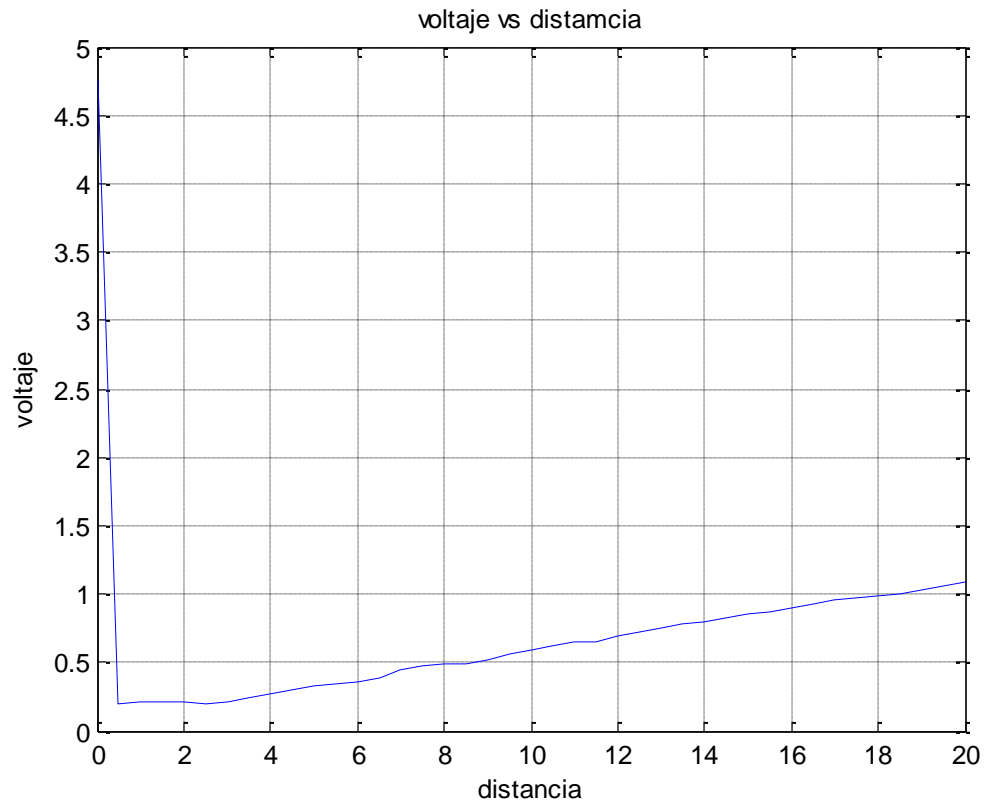
Este sensor funciona con 5 V y se puede utilizar para medir distancia desde 1 hasta 3 metros.

Si el pin de rango se conecta a tierra el sensor mide solo hasta 1 metro, si se conecta a 5V el sensor mide hasta 3 metros, debido a que la distancia que se pretende medir es corta se utilizó el sensor con el pin de rango a tierra para que midiera un metro, para caracterizar se realizaron 5 mediciones registradas en la tabla 5 y con el promedio de estas se obtuvo la gráfica del sensor (véase gráfica 2) y se pudo observar su funcionamiento.

| Distancia<br>(cm) | Mediciones (v) |      |      |      |      | Promedio |
|-------------------|----------------|------|------|------|------|----------|
|                   | 1              | 2    | 3    | 4    | 5    |          |
| 0                 | 4.75           | 4.76 | 4.74 | 4.76 | 4.76 | 4.754    |
| 0.5               | 0.2            | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.2  | 0.194    |
| 1                 | 0.19           | 0.21 | 0.2  | 0.21 | 0.22 | 0.206    |
| 1.5               | 0.19           | 0.2  | 0.2  | 0.21 | 0.23 | 0.206    |
| 2                 | 0.21           | 0.21 | 0.19 | 0.22 | 0.24 | 0.214    |
| 2.5               | 0.18           | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.21 | 0.192    |
| 3                 | 0.2            | 0.21 | 0.22 | 0.22 | 0.24 | 0.218    |
| 3.5               | 0.23           | 0.25 | 0.24 | 0.24 | 0.26 | 0.244    |
| 4                 | 0.25           | 0.29 | 0.27 | 0.26 | 0.3  | 0.274    |
| 4.5               | 0.28           | 0.3  | 0.29 | 0.29 | 0.34 | 0.3      |
| 5                 | 0.32           | 0.32 | 0.34 | 0.32 | 0.36 | 0.332    |
| 5.5               | 0.34           | 0.34 | 0.35 | 0.34 | 0.35 | 0.344    |
| 6                 | 0.35           | 0.36 | 0.35 | 0.37 | 0.37 | 0.36     |
| 6.5               | 0.4            | 0.4  | 0.38 | 0.38 | 0.4  | 0.392    |
| 7                 | 0.44           | 0.45 | 0.44 | 0.44 | 0.45 | 0.444    |
| 7.5               | 0.46           | 0.46 | 0.46 | 0.48 | 0.5  | 0.472    |
| 8                 | 0.48           | 0.47 | 0.5  | 0.49 | 0.5  | 0.488    |
| 8.5               | 0.48           | 0.48 | 0.49 | 0.49 | 0.51 | 0.49     |
| 9                 | 0.51           | 0.51 | 0.52 | 0.52 | 0.53 | 0.518    |
| 9.5               | 0.56           | 0.56 | 0.54 | 0.56 | 0.58 | 0.56     |
| 10                | 0.59           | 0.59 | 0.59 | 0.6  | 0.61 | 0.596    |
| 10.5              | 0.61           | 0.62 | 0.62 | 0.63 | 0.64 | 0.624    |
| 11                | 0.64           | 0.64 | 0.65 | 0.65 | 0.66 | 0.648    |
| 11.5              | 0.64           | 0.65 | 0.65 | 0.66 | 0.67 | 0.654    |
| 12                | 0.69           | 0.7  | 0.7  | 0.7  | 0.71 | 0.7      |
| 12.5              | 0.72           | 0.73 | 0.73 | 0.73 | 0.74 | 0.73     |
| 13                | 0.75           | 0.75 | 0.75 | 0.74 | 0.77 | 0.752    |
| 13.5              | 0.77           | 0.78 | 0.78 | 0.78 | 0.79 | 0.78     |
| 14                | 0.8            | 0.79 | 0.79 | 0.79 | 0.82 | 0.798    |
| 14.5              | 0.81           | 0.82 | 0.82 | 0.82 | 0.83 | 0.82     |
| 15                | 0.83           | 0.84 | 0.86 | 0.85 | 0.86 | 0.848    |
| 15.5              | 0.86           | 0.87 | 0.89 | 0.87 | 0.88 | 0.874    |
| 16                | 0.9            | 0.9  | 0.9  | 0.89 | 0.91 | 0.9      |
| 16.5              | 0.94           | 0.95 | 0.94 | 0.91 | 0.93 | 0.934    |
| 17                | 0.97           | 0.96 | 0.96 | 0.94 | 0.96 | 0.958    |
| 17.5              | 0.98           | 0.96 | 0.98 | 0.96 | 0.97 | 0.97     |
| 18                | 1              | 0.98 | 1    | 0.97 | 0.98 | 0.986    |
| 18.5              | 1.01           | 1.01 | 1.01 | 0.99 | 1.01 | 1.006    |
| 19                | 1.03           | 1.06 | 1.03 | 1.02 | 1.03 | 1.034    |

|      |      |      |      |      |      |       |
|------|------|------|------|------|------|-------|
| 19.5 | 1.06 | 1.07 | 1.06 | 1.05 | 1.05 | 1.058 |
| 20   | 1.08 | 1.1  | 1.07 | 1.08 | 1.09 | 1.084 |

Tabla 5. Mediciones sensor ultrasónico de distancia US-016.



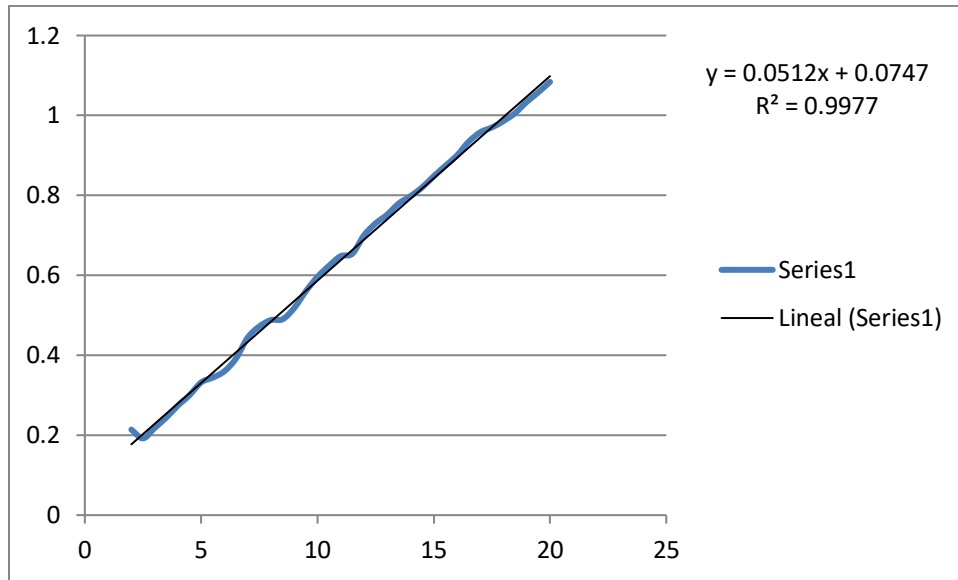
Gráfica 2. Caracterización sensor ultrasónico de distancia US-016.

## Circuito acondicionador del sensor

Debido a que el sensor ultrasónico mostro un comportamiento más lineal se decidió utilizarlo, además de que es más sencillo de conectar.

El único problema que se noto fue que los voltajes de salida son muy pequeños y se requerirá de un circuito que amplifique la señal de salida.

Para el sensor que fue seleccionado se necesitó realizar un circuito para acondicionar la señal de salida del sensor para lo cual se utilizó una aproximación lineal de la gráfica 2 para obtener la ecuación que se puede apreciar en la gráfica 3.



Gráfica 3. Pendiente de la caracterización del sensor ultrasónico.

Con la gráfica obtuvimos la siguiente ecuación  $y = 0.0512x + 0.0747$ , usando esta ecuación se realizó el circuito, que se muestra en la figura 5, utilizando amplificadores operacionales y con este se pudo modificar la salida del sensor para que nos diera 1V por cada centímetro que mide.

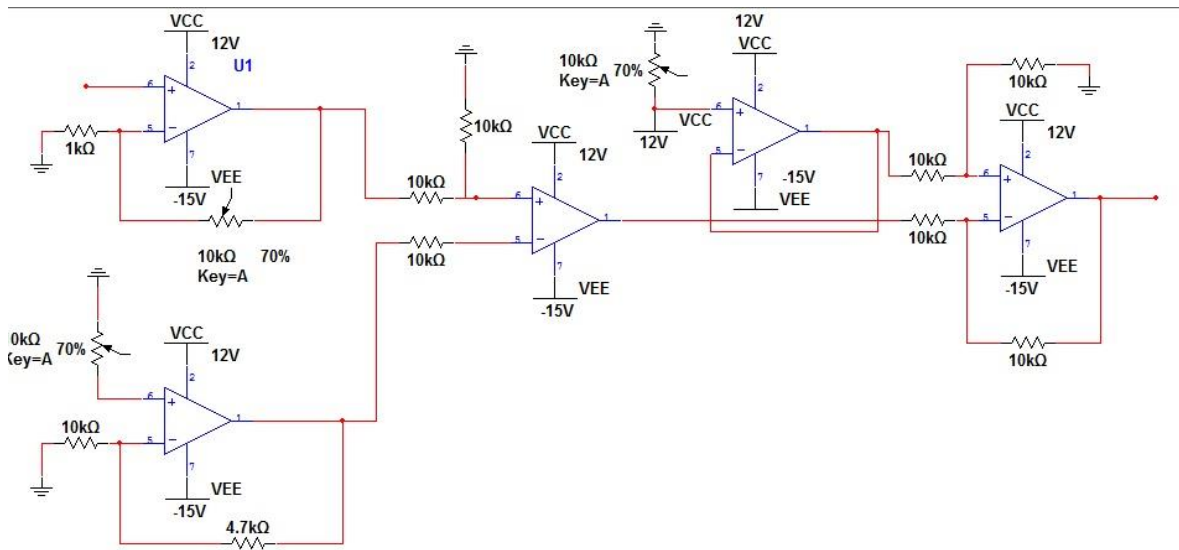
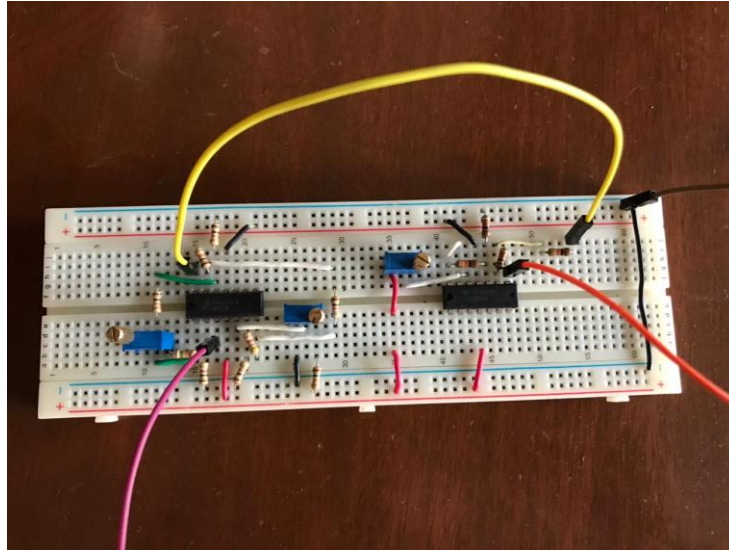


Figura 5. Diagrama del circuito acondicionador de la señal del sensor.

En la figura 6 se muestra el circuito para acondicionar la señal de salida del sensor.



*Figura 6. Circuito para acondicionar la señal de salida del sensor.*

En el primer trimpot es la parte  $0.0512x$ , el segundo trimpot es la constante  $0.0747$ ; con esta parte del circuito hacemos que nos dé un volt por centímetro.

En la otra parte del circuito se calibra el sensor, en el tercer trimpot entran  $12V$  y se varia con el trimpot para obtener un voltaje igual al de salida del circuito anterior y con el restador nos da  $0V$  cuanto el electroimán se encuentra apagado y el objeto levitante está en la posición cero del sistema, y nos da un voltaje distinto cada que el objeto levitante cambia su posición sobre el eje.

## Capítulo V: Etapa de Potencia

Para la etapa de potencia se realizó un circuito tipo chopper (ver figura 7) para controlar la corriente que circula por el electroimán. Un circuito chopper funciona como un interruptor electrónico con el cual se interrumpe una señal que se encuentra bajo el control de otra señal. Para este circuito se utilizó un transistor mosfet de potencia, un diodo y una resistencia como se puede observar en la siguiente figura.

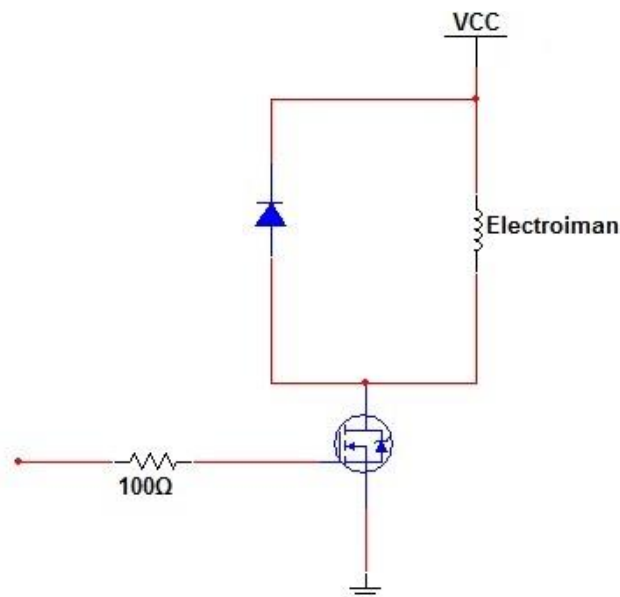
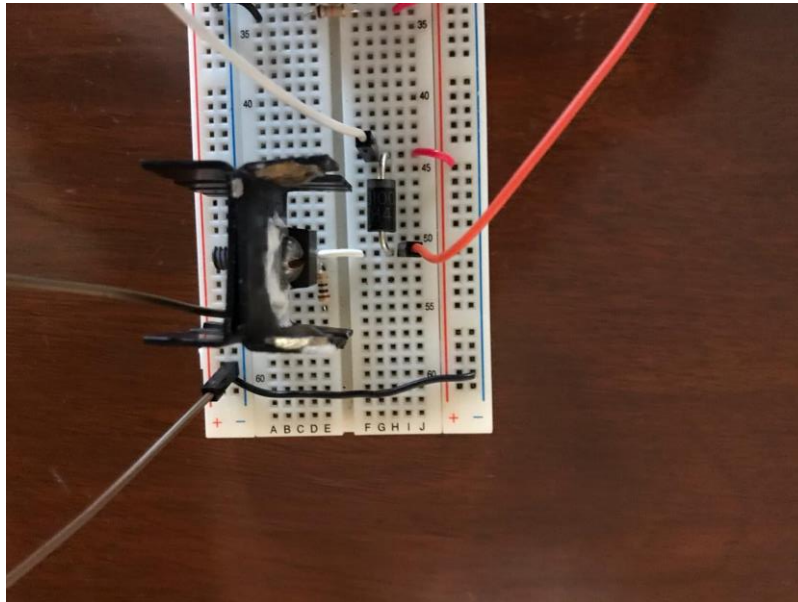


Figura 7. Diagrama del circuito chopper de potencia.

En la figura 8 se muestra el circuito de potencia para el cual se utilizaron: un transistor tipo Mosfet para 200V@9A con un disipador, un diodo shotky.



*Figura 8. Circuito tipo chopper de potencia.*

El electroimán va conectado en paralelo al diodo. En esta etapa se regula la corriente con la que se alimenta el electroimán para lograr que un objeto sea levitando debido al campo magnético generado, ya que el campo magnético es proporcional a la corriente que alimenta al electroimán.

## Capítulo VI: Fuentes de voltaje

Se realizaron dos fuentes de voltaje para lograr que el electroimán y el sensor funcionaran sin la necesidad de tener que conectar todo el sistema a las fuentes que se utilizan en los laboratorios. Una fuente de voltaje entrega una salida de 33V de corriente directa para alimentar al electroimán, y la otra fuente entrega 12V, -12V para alimentar el circuito acondicionador de la señal del sensor; y 5V para el funcionamiento del sensor.

### Fuente de voltaje para el electroimán

Para la fuente de voltaje del electroimán se utilizó un transformador con tap central para convertir los 120V de la toma corriente y convertirlos a 12V@5A. Para pasar de corriente alterna a corriente directa se utilizó un puente rectificador de 10A y un filtro capacitivo para eliminar el rizo de la salida.

El transformador tiene 670 espiras de alambre calibre 27 en el primario y en el secundario 140 espiras de alambre calibre 20 con tap central.

Para calcular la capacitancia de rizo y la resistencia de descarga se utilizó la siguiente fórmula:

$$C \approx \frac{V_{in}}{2fR_L \Delta V_{inpp}} \approx \left( \frac{I_{RecTot}}{\Delta V_{inpp}} \right) (6 \times 10^{-3})$$

$$\Delta V_{inpp} = 15\% de V_{in} = (0.15)(33) = 4.95V$$

$$C \approx \left( \frac{I_{RecTot}}{\Delta V_{inpp}} \right) (6 \times 10^{-3}) \approx \left( \frac{5A}{4.95V} \right) (6 \times 10^{-3}) \approx 6.06 \times 10^{-3} F$$

Para obtener la resistencia se utilizó la siguiente fórmula:

$$5\tau = 5C_{rizo}R_p \approx 10min$$

$$R_p = \frac{600s}{5(6.06 \times 10^{-3}C)} = 19.80 \times 10^3 \Omega$$

$$P_{Rp} = \frac{V_{Rp}}{R_p} = \frac{(34)^2}{18k\Omega} = 64.22 \times 10^{-3} W$$

Así se obtuvieron los resultados para hacer el filtro capacitivo el cual necesitaba de un capacitor de 6000 $\mu$ F y una resistencia de 18k $\Omega$ @1/4W, dando como resultado el circuito que se muestra en la figura 9. Para lograr los 6000 $\mu$ F necesarios para el funcionamiento requerido se utilizaron 3 capacitores de 2200  $\mu$ F@50V.

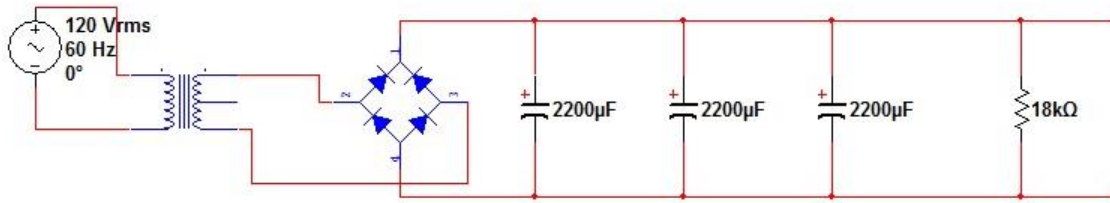


Figura 9. Circuito de la fuente de voltaje para el electroimán

El circuito de la fuente de voltaje va conectado al circuito chopper de la etapa de potencia del electroimán.

En la figura 10 se puede observar el circuito de potencia y el circuito de la fuente, este circuito tiene una entrada de 120V de corriente alterna y una salida al final del circuito de 34V de corriente directa. El transformador se conecta a las entradas del puente rectificador y el electroimán se conecta en paralelo al diodo shotky.

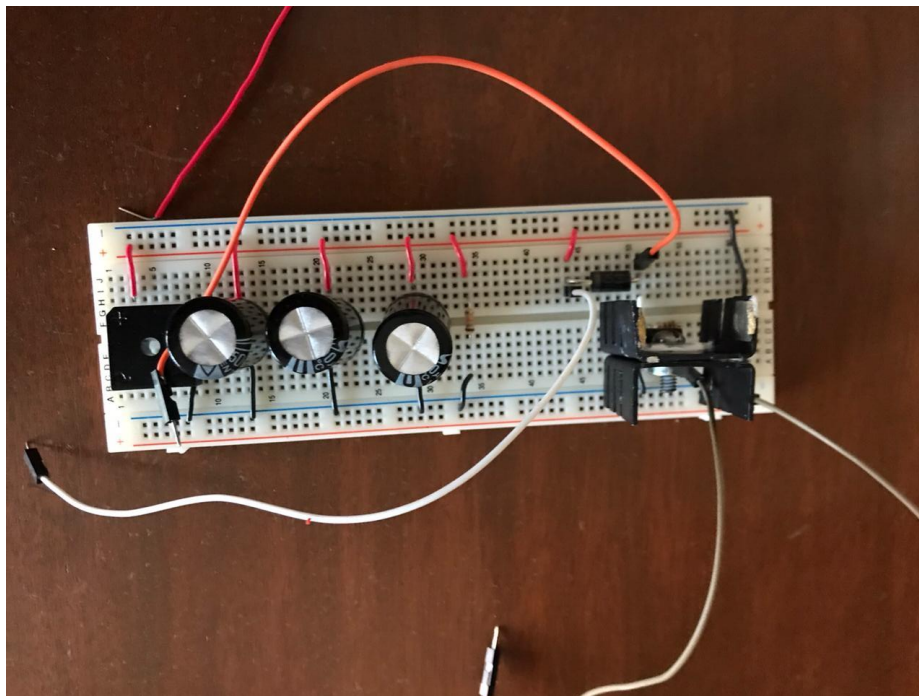


Figura 10. Circuito de potencia tipo chopper y circuito de la fuente de voltaje.

## Fuente de voltaje para el sensor

Como fuente de voltaje del electroimán se utilizó un transformador con tap central para convertir los 120V de la toma corriente y convertirlos a 12V@2A, para pasar de corriente alterna a corriente directa se utilizó un puente rectificador de 5A y un circuito para obtener tres salidas de 12V, -12V y 5V.

El transformador tiene 420 espiras de alambre calibre 23 en el primario y 90 espiras de alambre calibre 17 en el secundario con tap central. En la figura 11 se puede apreciar el circuito para obtener las salidas requeridas.

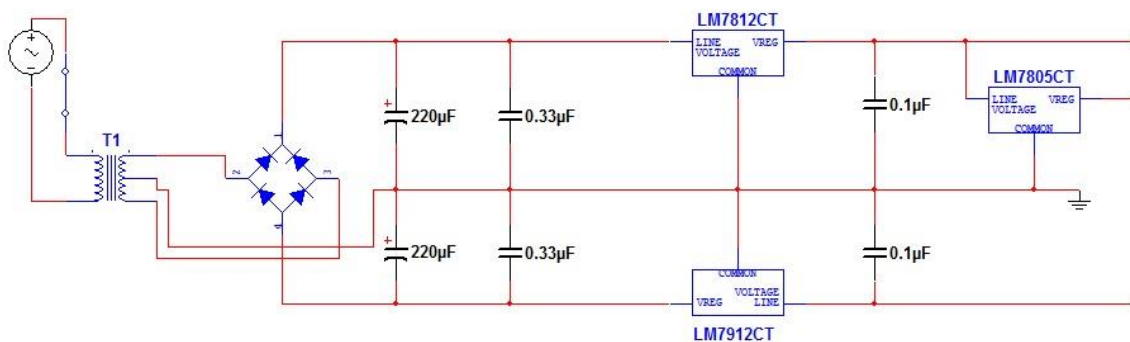
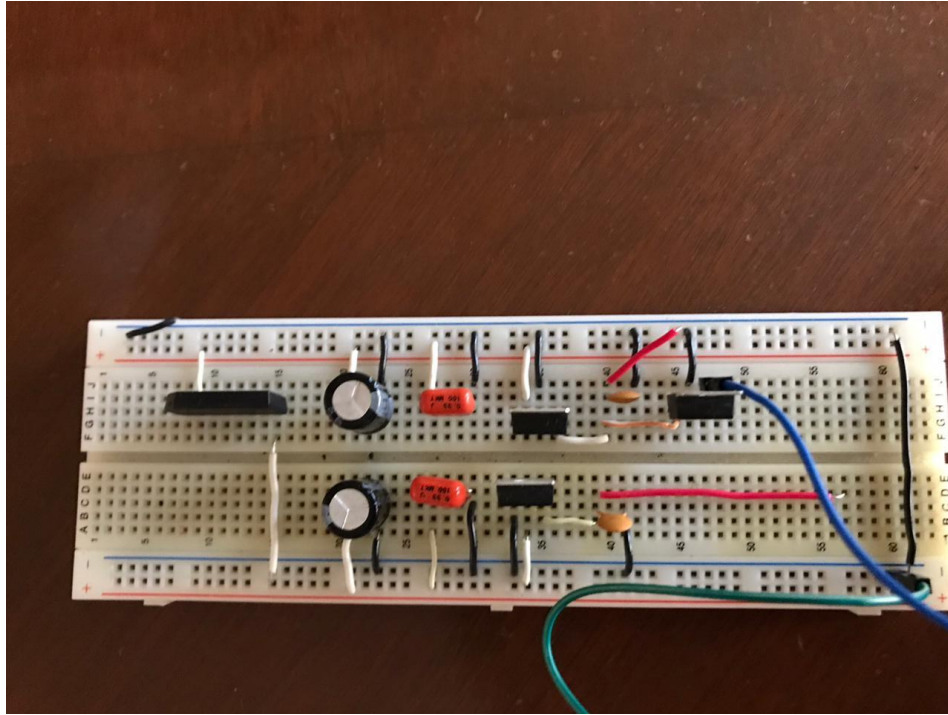


Figura 11. Diagrama del circuito de la fuente del sensor

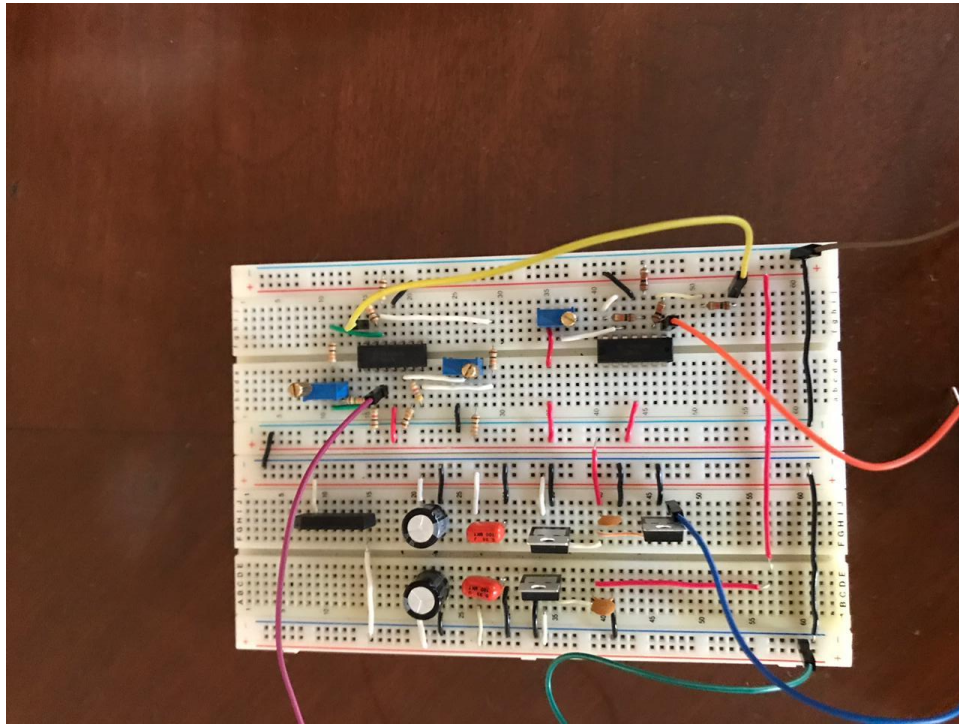
En la figura 12, se puede observar el circuito, mostrando los 12V de corriente alterna que salen del transformador entran al puente rectificador y en el alambre rojo de la parte superior se obtienen los 12V positivos y en el alambre rojo de la parte inferior se obtiene los -12V, los 5V se obtiene en el alambre azul de la parte superior.



*Figura 12. Circuito para obtener los voltajes requeridos (12V, -12V y 5V)*

Este circuito se conecta al circuito acondicionador de la señal del sensor ya que para el funcionamiento de este se necesitan 12V y -12V y la salida de 5V se conecta al sensor.

En la figura 13 se observan los dos circuitos conectados los 12V y -12V entran al circuito acondicionador de señal. Los 12V entran en la línea inferior de corriente de la protoboard; y los -12V entran en la línea de corriente de la parte superior de la protoboard, esto se hizo ya que el circuito acondicionador de la señal del sensor necesita esos voltajes para su funcionamiento, el alambre azul se conecta al sensor ya que este requiere de 5V para funcionar.



*Figura 13. Circuitos de la fuente de voltaje y acondicionador de la señal del sensor*

# Capítulo VII: Sistemas de control

En un sistema de control, como el que se puede apreciar en la figura 14, se compara el valor de salida de un proceso con un valor deseado, también determina el error y produce una señal de control con la que se intenta reducir el error a un valor muy pequeño. Los controladores se clasifican por la acción de control que realizan [3].

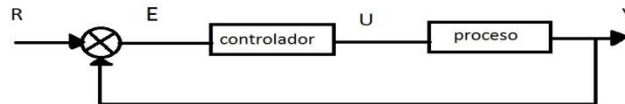


Figura 14. Sistema de control básico R es la entrada, E el error, U es la variable de control y la salida.

## Controlador proporcional

Un controlador proporcional es un amplificador con ganancia ajustable, para la acción proporcional se tiene una relación entre la señal de salida y la señal de error y sirve para regular la velocidad de respuesta del sistema de control.

$$y(t) = Kp e(t)$$

$$\frac{Y(S)}{E(S)} = Kp$$

Kp es la ganancia proporcional.

Se dice que un controlador derivativo es un controlador de velocidad ya que la señal de salida del controlador es proporcional a la velocidad con la que se varía la señal de error, pero lo que en realidad hace es frenar. Pero tiene la desventaja de amplifica el ruido lo cual provoca saturación en el actuador por lo cual no es bueno usar derivadores. Un controlador derivativo nunca se utiliza solo ya que solo es efectivo en el estado transitorio.

En un controlador con acción integral la señal de salida varía proporcionalmente con la integral de la señal de error, la ganancia del integrador sirve para darle forma al transitorio.

$$y(t) = Ki \int_0^t e(t) dt$$

$$\frac{Y(S)}{E(S)} = \frac{Ki}{S}$$

El controlador integral nos ayuda a que la señal de error se acerque a cero

# Controlador PID

El controlador PID tiene las ventajas de las tres acciones de control y su salida es:

$$y(t) = Kp e(t) + Kp Td \frac{de(t)}{dt} + \frac{Kp}{Ti} \int_0^t e(t) dt$$

$$\frac{Y(S)}{E(S)} = Kp \left( 1 + TdS + \frac{1}{TiS} \right)$$

En este proyecto se realizará un sistema que está compuesto por el sensor de posición y el actuador, en la planta se tendrá una señal de entrada de voltaje y nos dará en la señal de salida la distancia del objeto levitante.

En la figura 15 se presenta el diagrama del controlador PID que se implementará para el funcionamiento del sistema.

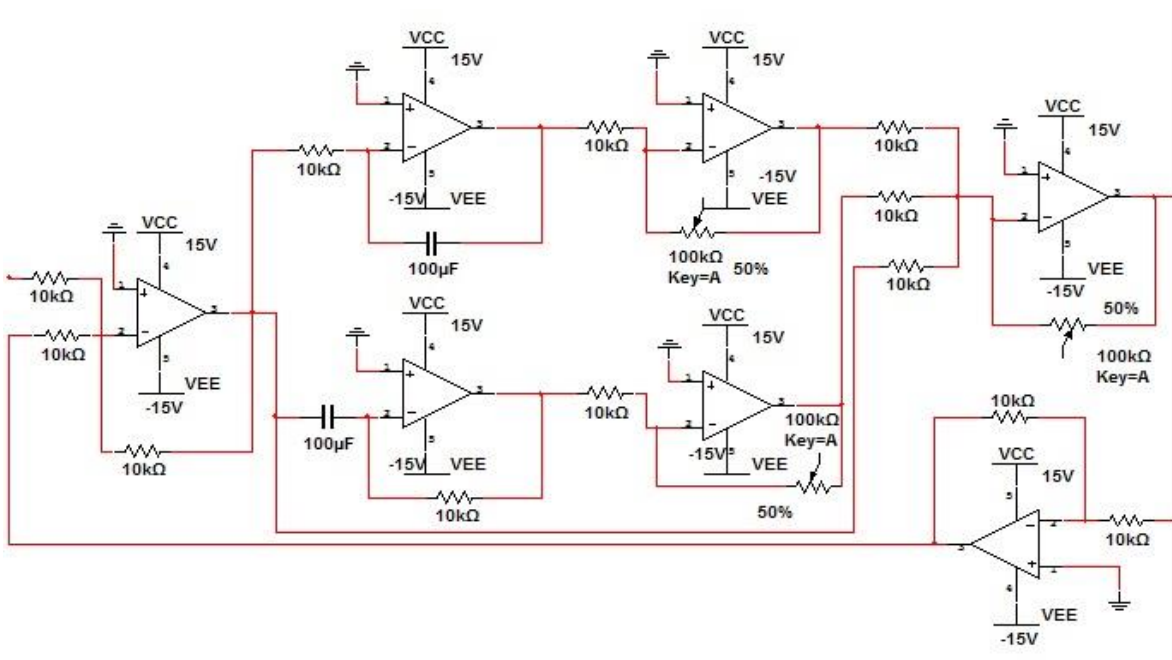


Figura 15. Diagrama del controlador PID.

La planta está formada por el sensor de posición, el cual mandará una señal de voltaje de la posición en la que se encuentra el objeto levitante, la señal pasará por un circuito que amplificará la señal y la acondicionará para tener un volt por cada centímetro que se mueve el objeto levitante. Esa señal entrará al controlador PID y se comparará con un voltaje de referencia para poder así lograr el control del sistema magnético. El controlador se podrá ajustar mediante tres trimpods que son cada una de las acciones de control que tiene un PID. Como referencia se puede observar la figura 16.

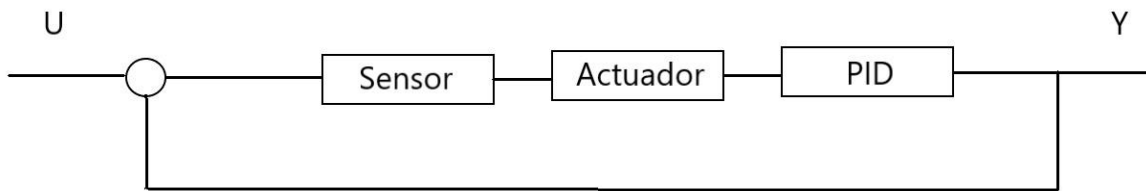


Figura 16. Diagrama de la planta.

---

# Pruebas y conclusiones

Para este proyecto primero se pensó en que el levitador fuera de atracción, pero se decidió cambiar por un levitador de repulsión, por lo cual se tuvo que modificar el diseño del gabinete del electroimán, esto porque es un poco menos complicado controlar un levitador de repulsión porque este es más estable que el levitador de atracción.

Para lograr que el electroimán funcionara de la forma en que se necesitaba se tuvieron que hacer varios electroimanes los cuales tenían diferentes longitudes y números de espiras. Pero cuando se reducía la longitud del núcleo no se podían poner las espiras requeridas, y fue por eso que se aumentó la longitud del electroimán para poder poner el número de espiras requerido que era de 1500, mientras mejor acomodadas estén las espiras el funcionamiento del electroimán será mejor.

Para lograr que funcionara el circuito que acondiciona la señal y el electroimán se necesitaba de una fuente de voltaje por lo que se tuvieron que realizar dos fuentes, una para alimentar al electroimán y otra para poder hacer que funcionaran los circuitos. Para realizar la fuente del electroimán hubo problemas, pero la fuente para alimentar los circuitos y el sensor fue un poco más complicada ya que se tuvo un problema con los amplificadores operacionales debido a que estos consumen dos volts para su funcionamiento por lo cual solo se puede obtener en la salida del circuito 10V y se necesitaban 12V en la salida, debido a eso no se podía calibrar de la forma que se esperaba el circuito de acondicionamiento de la señal. Para solucionar se tuvo que hacer un cambio en la fuente de voltaje y se utilizó un regulador de 15V.

Debido a cuestiones de tiempo no se pudieron realizar las pruebas con el controlador PID que se requerían, pero se realizaron pruebas con el sistema magnético conectado a un generador de funciones, el cual generaba a su salida un tren de pulsos con una frecuencia de 20kHz y una amplitud de 0V es su nivel bajo hasta 5V de nivel alto y se variaba el ciclo de trabajo de la señal para observar el comportamiento del sistema.

Debido a las variaciones del ciclo de trabajo de la señal, cuando el ciclo de trabajo se ponía al 15% el imán comenzaba a levitar aproximadamente 1cm respecto a un punto de referencia que se colocó en el electroimán para poder realizar las mediciones y la altura de levitación cambia conforme se iba aumentando el ciclo de trabajo de la señal, cuando ciclo de trabajo llegaba al 100% el imán llegaba a una altura de 4cm.

Se espera que al conectar el controlador PID se comporte de igual manera y que la distancia del objeto cambie debido a las variaciones de las distintas acciones de control que son la acción proporcional, la acción integral y la acción derivativa y poder observar que es lo que pasa al modificar todas o cada una por separado.

El sistema magnético que se ha materializado con todo el desarrollo de este proyecto, puede ser observado en la figura 17.



*Figura 17. Sistema magnético terminado.*

## Referencias

- [1] P.E.Tippens “*Física, conceptos y aplicaciones*” séptima edición, McGrawHill, México, 2011.
- [2] M.N.Delgado “*Diseño de un sistema de levitación magnética*”, tesis, UNAM, CDMX, México, 2010.
- [3] K.Ogata “*Ingeniería de control moderna*” quinta edición, Pearson, México, 2010.

## Entregables

Gabinete



Figura 18. Gabinete del electroimán terminado

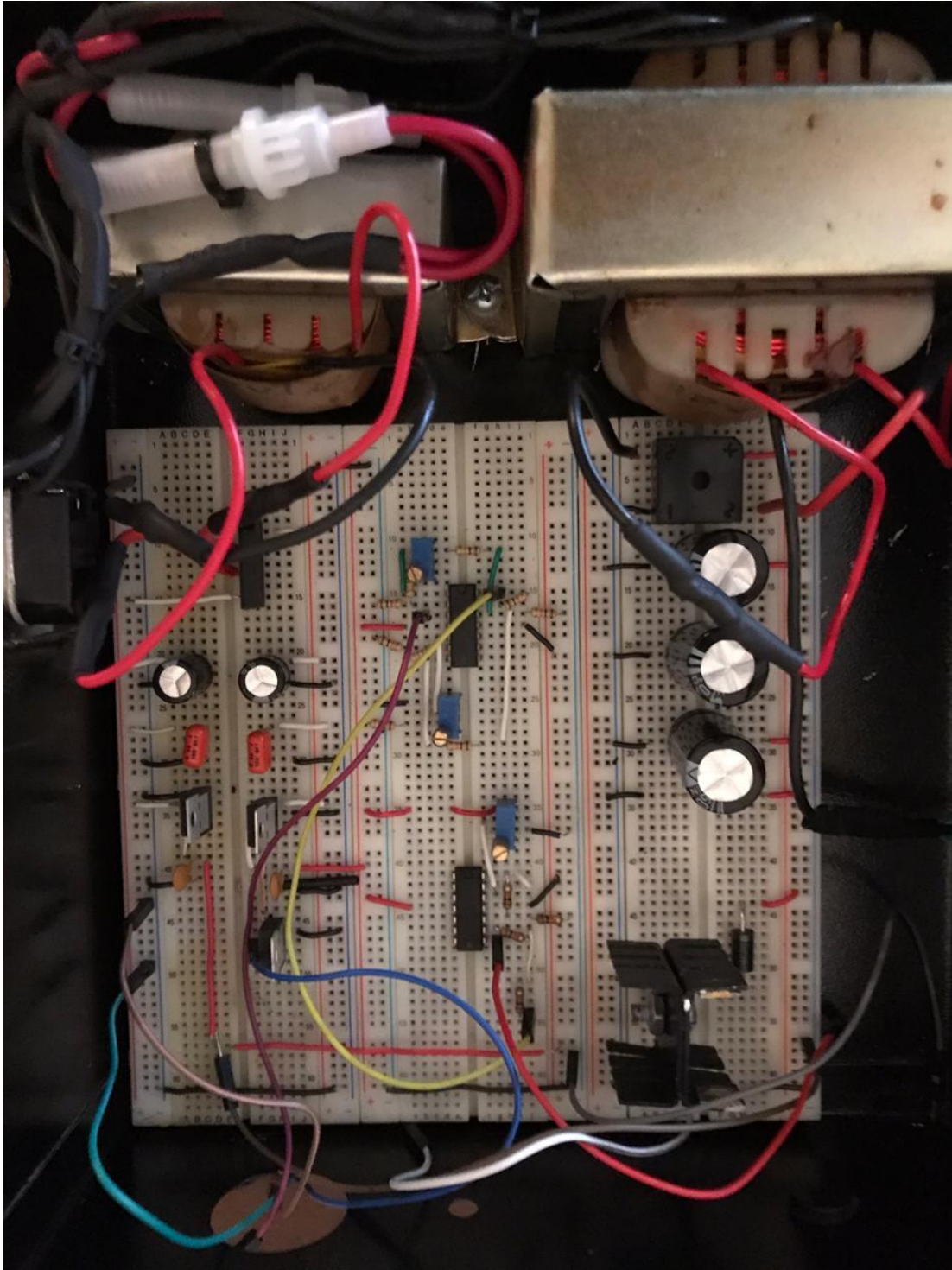
---

## Electroimán



*Figura 19. Electroimán terminado*

Fuentes de voltaje y circuitos necesarios



*Figura 20. Fuentes de voltaje y circuitos del sistema*

# Hojas de datos



**UNISONIC TECHNOLOGIES CO., LTD**

## TL084

Preliminary

**LINEAR INTEGRATED CIRCUIT**

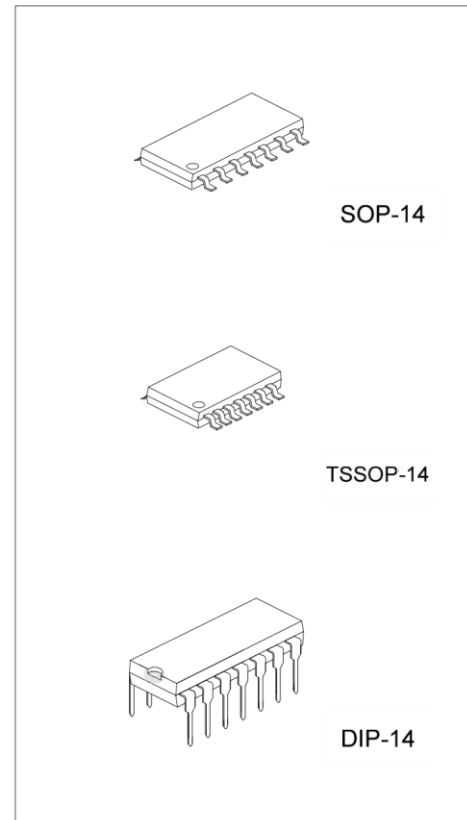
### LOW NOISE QUAD J-FET OPERATIONAL AMPLIFIER

#### DESCRIPTION

The UTC **TL084** is a high speed J-FET input quad operational amplifier. It incorporates well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors on a monolithic integrated circuit. The device features high slew rates, low input bias and offset current, and low offset voltage temperature coefficient.

#### FEATURES

- \*Low Power Consumption
- \*Wide Common-Mode (Up To  $V_{cc+}$ ) and Differential Voltage Range
- \*Low Input Bias and Offset Current
- \*Low Noise  $e_n = 15 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  (typ)
- \*Output Short-Circuit Protection
- \*High Input Impedance J-FET Input Stage
- \*Low Harmonic Distortion: 0.01%(typ)
- \*Internal Frequency Compensation
- \*Latch up Free Operation



#### ORDERING INFORMATION

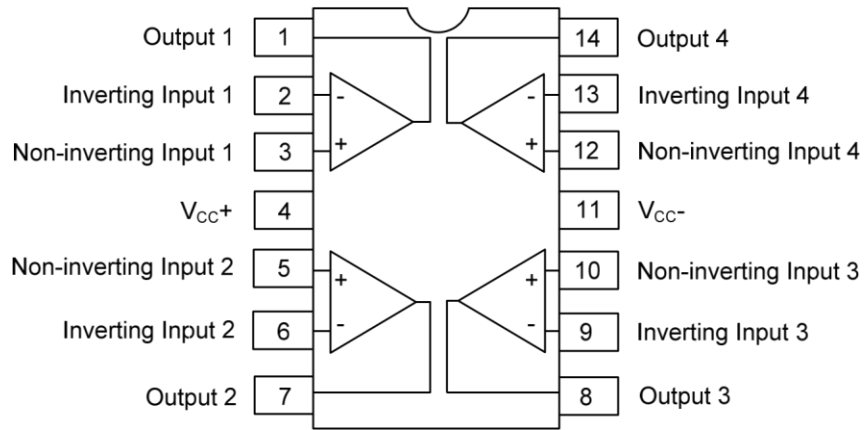
| Ordering Number   |              | Package  | Packing   |
|-------------------|--------------|----------|-----------|
| Lead Free Plating | Halogen Free |          |           |
| TL084L-D14-T      | TL084G-D14-T | DIP-14   | Tube      |
| TL084L-P14-R      | TL084G-P14-R | TSSOP-14 | Tape Reel |
| TL084L-S14-R      | TL084G-S14-R | SOP-14   | Tape Reel |

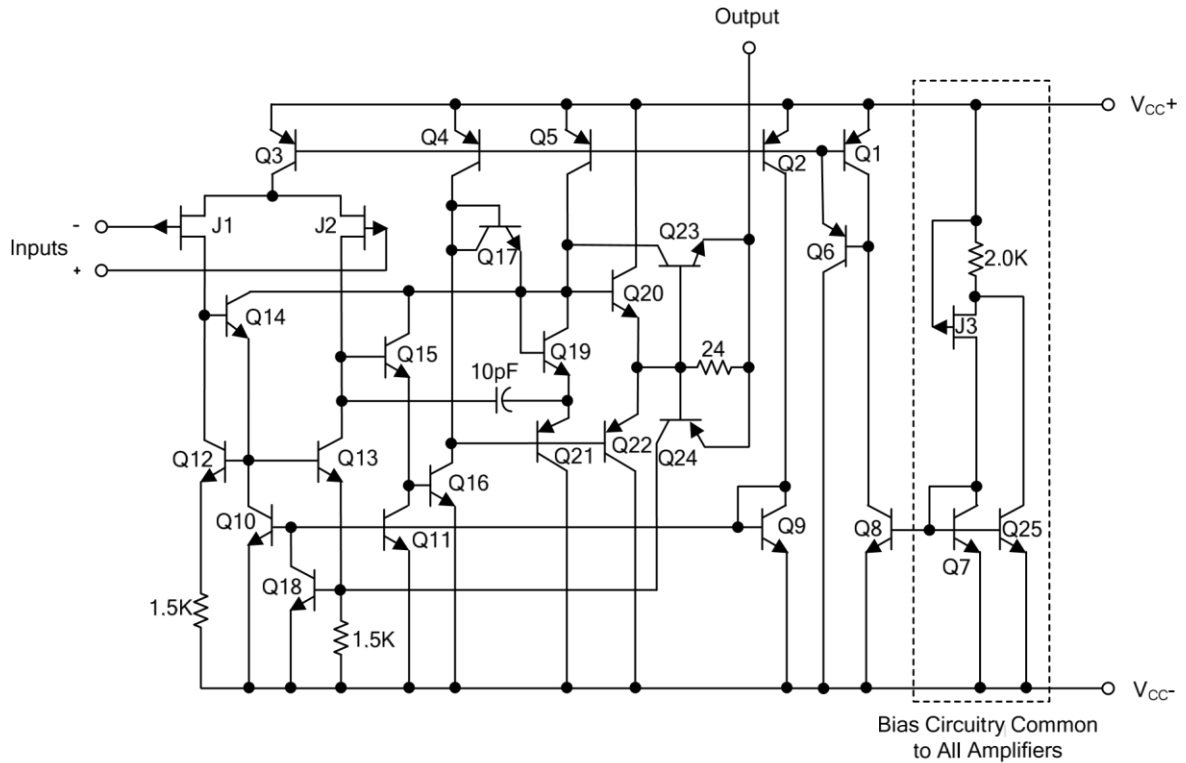
|  |  |
|--|--|
| <p>TL084L-D14-T</p> <p>(1) Packing Type<br/>(2) Package Type<br/>(3) Lead Free</p> | <p>(1) T: Tube, R: Tape Reel<br/>(2) D14: DIP-14, S14: SOP-14, P14: TSSOP-14<br/>(3) G: Halogen Free, L: Lead Free</p> |
|--|--|

[www.unisonic.com.tw](http://www.unisonic.com.tw)

Copyright © 2010 Unisonic Technologies Co., Ltd  
**PIN CONFIGURATIONS**



**SCHEMATIC DIAGRAM**



**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Ta=25°C)**

| PARAMETER                              | SYMBOL               | RATING     | UNIT |
|--|----------------------|------------|------|
| Supply Voltage (Note 2)                | V <sub>CC</sub>      | ±18        | V    |
| Input Voltage (Note 3)                 | V <sub>IN</sub>      | ±15        | V    |
| Differential Input Voltage (Note 4)    | V <sub>I(DIFF)</sub> | ±30        | V    |
| Power Dissipation                      | P <sub>D</sub>       | 680        | mW   |
| Output Short-Circuit Duration (Note 5) |                      | Infinite   |      |
| Operating Temperature                  | T <sub>OPR</sub>     | 0 ~ +70    | °C   |
| Storage Temperature                    | T <sub>STG</sub>     | -65 ~ +150 | °C   |

Notes: 1. Absolute maximum ratings are those values beyond which the device could be permanently damaged.

Absolute maximum ratings are stress ratings only and functional device operation is not implied.

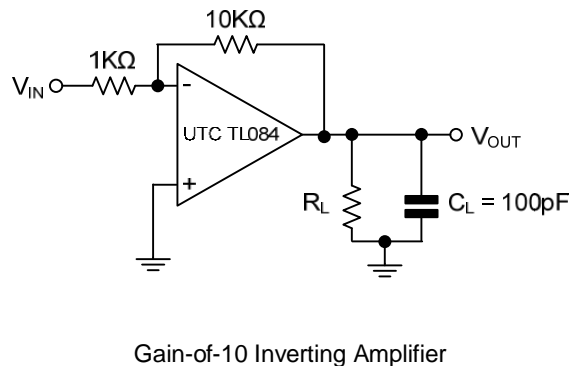
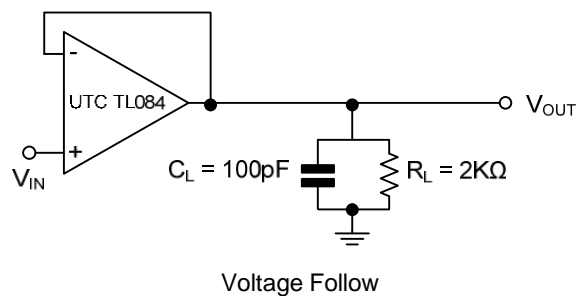
2. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V<sub>CC-</sub> and V<sub>CC+</sub>.
3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
4. Differential voltages are at the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
5. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

④ **ELECTRICAL CHARACTERISTICS** (V<sub>CC</sub>=±15V, T<sub>a</sub>=25°C, unless otherwise specified)

| PARAMETER                                       | SYMBOL              | TEST CONDITIONS                                       | MIN      | TYP       | MAX | UNIT             |
|---|---------------------|---|----------|-----------|-----|------------------|
| Input Offset Voltage                            | $V_{I(OFF)}$        | $R_S \leq 10k\Omega, V_{CM}=0V$                       |          | 5         | 15  | mV               |
| Temperature Coefficient of Input Offset Voltage | $\Delta V_{I(OFF)}$ | $R_S=50\Omega$  |          | 10        |     | $\mu V/^\circ C$ |
| Input Offset Current (Note)                     | $I_{I(OFF)}$        | $V_{CM}=0V$   |          | 5         | 200 | pA               |
| Input Bias Current (Note1)                      | $I_{I(BIAS)}$       | $V_{CM}=0V$   |          | 30        | 400 | pA               |
| Input Common Mode Voltage                       | $V_{I(CM)}$         |   | $\pm 10$ | -12~+15   |     | V                |
| Output Voltage Swing                            | $V_{O(SW)}$         | $R_L=10k\Omega$                                       | 24       | 28        |     | V                |
| Large Signal Voltage Gain                       | $G_V$               | $R_L \geq 2k\Omega, V_{OUT}=\pm 10V$                  | 25       | 150       |     | V/mV             |
| Gain Bandwidth Product                          | $GB_W$              |   |          | 1         |     | MHz              |
| Input Resistance                                | $R_{IN}$            |   |          | $10^{12}$ |     | $\Omega$         |
| Common Mode Rejection Ratio                     | CMR                 | $R_S \leq 10k\Omega$                                  | 70       | 100       |     | dB               |
| Supply Voltage Rejection Ratio                  | SVR                 | $R_S \leq 10k\Omega$                                  | 70       | 100       |     | dB               |
| Supply Current                                  | $I_{CC}$            | No Load   |          | 1.4       | 2.8 | mA               |
| Channel Separation                              | $V_{O1}/V_{O2}$     | $G_V=100$   |          | 120       |     | dB               |
| Slew Rate                                       | SR                  | $V_{IN}=10V, R_L=2k\Omega, C_L=100pF,$<br>unity gain  | 2.0      |           |     | V/ $\mu s$       |
| Rise Time                                       | $t_R$               |   |          | 0.1       |     | $\mu s$          |
| Overshoot Factor                                | $K_{OV}$            | $V_{IN}=20mV, R_L=2k\Omega, C_L=100pF,$<br>unity gain |          | 10        |     | %                |
| Equivalent Input Noise Voltage                  | eN                  | $R_S=100\Omega, f=1KHz$                               |          | 25        |     | $nV/\sqrt{Hz}$   |

Note: The Input bias currents are junction leakage currents, which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature.

**PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION**



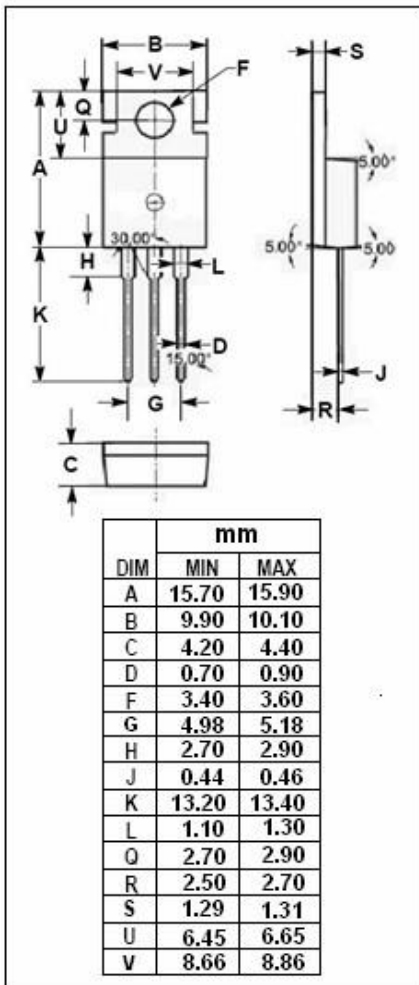
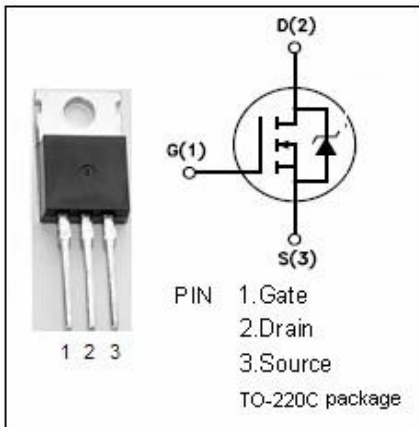
UTC assumes no responsibility for equipment failures that result from using products at values that exceed, even momentarily, rated values (such as maximum ratings, operating condition ranges, or other parameters) listed in products specifications of any and all UTC products described or contained herein. UTC products are not designed for use in life support appliances, devices or systems where malfunction of these products can be reasonably expected to result in personal injury. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner. The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice.

INCHANGE Semiconductor

isc Product Specification

isc N-Channel MOSFET Transistor

IRF630A



DESCRIPTION

- Drain Current  $-I_D=9A @ T_C=25^\circ C$
- Drain Source Voltage-  
:  $V_{DSS}= 200V(\text{Min})$
- Static Drain-Source On-Resistance  
:  $R_{DS(on)} = 0.4 \Omega (\text{Max})$
- Fast Switching Speed
- Low Drive Requirement

APPLICATIONS

| SYMBOL    | PARAMETER                                  | VALUE    | UNIT       |
|-----------|--|----------|------------|
| $V_{DSS}$ | Drain-Source Voltage ( $V_{GS}=0$ )        | 200      | V          |
| $V_{GS}$  | Gate-Source Voltage                        | $\pm 30$ | V          |
| $I_D$     | Drain Current-continuous@ $T_C=25^\circ C$ | 9        | A          |
| $P_{tot}$ | Total Dissipation@ $T_C=25^\circ C$        | 72       | W          |
| $T_j$     | Max. Operating Junction Temperature        | 150      | $^\circ C$ |
| $T_{stg}$ | Storage Temperature Range                  | -55~150  | $^\circ C$ |

• This device is n-channel, enhancement mode, power MOSFET designed especially for high power, high speed applications, such as switching power supplies, UPS, AC and DC motor controls, relay and solenoid drivers and high energy pulse circuits.

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS( $T_a=25^\circ C$ )**

| SYMBOL       | PARAMETER                               | MAX  | UNIT         |
|--------------|---|------|--------------|
| $R_{th j-c}$ | Thermal Resistance, Junction to Case    | 1.74 | $^\circ C/W$ |
| $R_{th j-a}$ | Thermal Resistance, Junction to Ambient | 62.5 | $^\circ C/W$ |

THERMAL CHARACTERISTICS

isc Website: [www.iscsemi.cn](http://www.iscsemi.cn)

INCHANGE Semiconductor

ISC Product Specification

isc N-Channel Mosfet Transistor

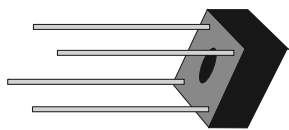
IRF630A

• ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_C=25^\circ\text{C}$ )

| SYMBOL        | PARAMETER                        | CONDITIONS                             | MIN | MAX       | UNIT          |
|---------------|----------------------------------|--|-----|-----------|---------------|
| $V_{(BR)DSS}$ | Drain-Source Breakdown Voltage   | $V_{GS}= 0; I_D= 0.25\text{mA}$        | 200 |           | V             |
| $V_{GS(TH)}$  | Gate Threshold Voltage           | $V_{DS}= V_{GS}; I_D= 0.25\text{mA}$   | 2   | 4         | V             |
| $R_{DS(ON)}$  | Drain-Source On-stage Resistance | $V_{GS}= 10\text{V}; I_D= 4.5\text{A}$ |     | 0.4       | $\Omega$      |
| $I_{GSS}$     | Gate Source Leakage Current      | $V_{GS}= \pm 30\text{V}; V_{DS}= 0$    |     | $\pm 100$ | nA            |
| $I_{DSS}$     | Zero Gate Voltage Drain Current  | $V_{DS}= 200\text{V}; V_{GS}= 0$       |     | 10        | $\mu\text{A}$ |
| $V_{SD}$      | Diode Forward Voltage            | $I_F=9\text{A}; V_{GS}= 0$             |     | 1.5       | V             |

## **KBPC1005 THRU KBPC1010**

**SINGLE PHASE 10 AMP BRIDGE RECTIFIERS**



**VOLTAGE RANGE**

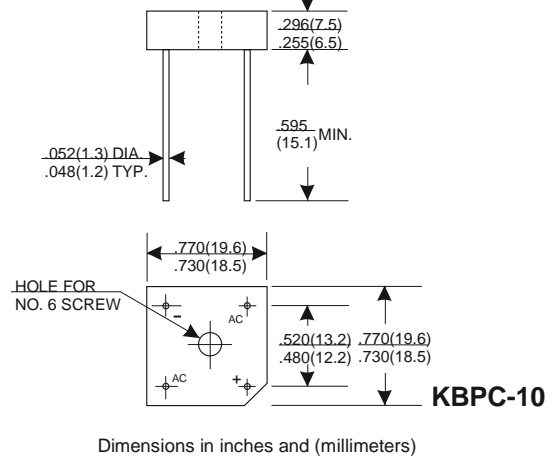
50 to 1000 Volts

**CURRENT**

10.0 Amperes

## FEATURES

- \* Low forward voltage
- \* Low leakage current
- \* Mounting: Hole thru for #6 screw
- \* Mounting position: Any
- \* Both normal and Pb free product are available:
- \* Normal: 80~95%Sn, 5~20%Pb
- \* Pb free: 99 Sn above can meet Rohs environment substance directive request



## MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Rating 25 C ambient temperature unless otherwise specified.  
Single phase half wave, 60Hz, resistive or inductive load.  
For capacitive load, derate current by 20%.

| TYPE NUMBER  | KBPC<br>1005 | KBPC<br>1010 | KBPC<br>102 | KBPC<br>104 | KBPC<br>106 | KBPC<br>108 | KBPC<br>1010 | V<br>UNITS |
|--|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|------------|
| Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage   |              |              |             | 50          |             |             |              |            |
| Maximum RMS Voltage  | 35           | 70           | 140         | 280         | 420         | 560         | 700          | V          |
| Maximum DC Blocking Voltage  |              |              |             | 50          |             |             |              |            |
| Maximum Average Forward Rectified Current<br>.375"(9.5mm) Lead Length at Tc=50°C                   | 10           |              |             |             |             |             |              | A          |
| Peak Forward Surge Current, 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC method) | 200          |              |             |             |             |             |              | A          |
| Maximum Forward Voltage Drop per Bridge Element at 10.0A D.C.                                      | 1.1          |              |             |             |             |             |              | V          |
| Maximum DC Reverse Current<br>at Rated DC Blocking Voltage<br>Ta=25°C<br>Ta=100°C                  | 10<br>200    |              |             |             |             |             |              | μA<br>μA   |
| Operating Temperature Range, Tj  | -65 — +150   |              |             |             |             |             |              | °C         |
| Storage Temperature Range, Tstg  | -65 — +150   |              |             |             |             |             |              | °C         |

## Positive Voltage Regulators

### GENERAL DESCRIPTION

This series of fixed-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. Each of these regulators can deliver up to 1.5A of output current. The internal current-limiting and thermal-shutdown features of these regulators essentially make them immune to overload. In addition to use as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents, and also can be used as the power-pass element in precision regulators. Compliance to RoHS.

### FEATURES

- 3-Terminal Regulators
- Output Current up to 1.5A
- Internal Thermal-Overload Protection
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- With TO220 package

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| Symbol    | Ratings                        | Value                               | Unit |
|-----------|--------------------------------|-------------------------------------|------|
| $V_I$     | Input Voltage DC               | $V_o = 5 \text{ V to } 18\text{V}$  | 35   |
|           |                                | $V_o = 20 \text{ V \& } 24\text{V}$ | 40   |
| $I_o$     | Output Current                 | Internally Limited                  | V    |
| $P_D$     | Power Dissipation              | Internally Limited                  |      |
| $T_{OP}$  | Operating Junction Temperature | 0° to 150                           | °C   |
| $T_{STG}$ | Storage Temperature            | -55° to 150                         | °C   |

### THERMAL DATA

| Symbol | Ratings | Value | Unit |
|--------|---------|-------|------|
|--------|---------|-------|------|

|                         |  |    |      |
|-------------------------|--|----|------|
| <b>R<sub>thJC</sub></b> | From Junction to Case Thermal Resistance     | 5  | °C/W |
| <b>R<sub>thJA</sub></b> | From Junction to Free-Air Thermal Resistance | 50 |      |

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF LM7805CT

T<sub>C</sub> = 25°C

| Symbol                  | Ratings                  | Test Condition(s)                                    | Min  | Typ | Max  | Unit |
|-------------------------|--------------------------|--|------|-----|------|------|
| <b>V<sub>O</sub></b>    | Output Voltage           | V <sub>i</sub> =20 V; I <sub>o</sub> = 500 mA        | 4.75 | 5   | 5.25 | V    |
| <b>Δ V<sub>V</sub></b>  | Line Regulation          | 8 V ≤ V <sub>i</sub> ≤ 20 V; I <sub>o</sub> = 500 mA | -    | -   | 100  | mV   |
| <b>Δ V<sub>I</sub></b>  | Load Regulation          | V <sub>i</sub> =14 V; 5 mA ≤ I <sub>o</sub> ≤ 1 A    | -    | -   | 100  | mV   |
| <b>I<sub>B</sub></b>    | Quiescent Current        | V <sub>i</sub> =14 V; I <sub>o</sub> = 1 A           | -    | -   | 8    | mA   |
| <b>Δ I<sub>B1</sub></b> | Quiescent Current Change | V <sub>i</sub> = 14 V; 5 mA ≤ I <sub>o</sub> ≤ 1 A   | -    | -   | 1.43 | μA   |
| <b>Δ I<sub>B2</sub></b> | Quiescent Current Change | 8 V ≤ V <sub>i</sub> ≤ 20 V; I <sub>o</sub> = 500 mA | -    | -   | 0.45 | μA   |

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF LM7812CT

T<sub>C</sub> = 25°C

| Symbol                  | Ratings                  | Test Condition(s)   | Min   | Typ | Max   | Unit |
|-------------------------|--------------------------|---|-------|-----|-------|------|
| <b>V<sub>O</sub></b>    | Output Voltage           | V <sub>i</sub> =19 V; I <sub>o</sub> = 500 mA             | 11.75 | 12  | 12.25 | V    |
| <b>Δ V<sub>V</sub></b>  | Line Regulation          | 14.8 V ≤ V <sub>i</sub> ≤ 30 V<br>I <sub>o</sub> = 500 mA | -     | -   | 120   | mV   |
| <b>Δ V<sub>I</sub></b>  | Load Regulation          | V <sub>i</sub> =19 V; 5 mA ≤ I <sub>o</sub> ≤ 1 A         | -     | -   | 100   | mV   |
| <b>I<sub>B</sub></b>    | Quiescent Current        | V <sub>i</sub> =19 V; I <sub>o</sub> = 1 A                | -     | -   | 6     | mA   |
| <b>Δ I<sub>B1</sub></b> | Quiescent Current Change | V <sub>i</sub> = 19 V; 5 mA ≤ I <sub>o</sub> ≤ 1 A        | -     | -   | 0.5   | μA   |
| <b>Δ I<sub>B2</sub></b> | Quiescent Current Change | 15 V ≤ V <sub>i</sub> ≤ 30 V<br>I <sub>o</sub> = 500 mA   | -     | -   | 0.8   | μA   |

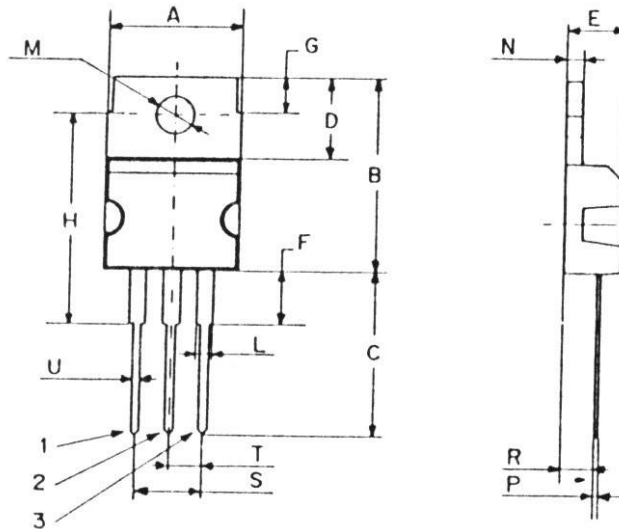
## ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF LM7824CT

$T_c = 25^\circ\text{C}$

| Symbol          | Ratings                  | Test Condition(s)   | Min   | Typ | Max  | Unit          |
|-----------------|--------------------------|---|-------|-----|------|---------------|
| $V_o$           | Output Voltage           | $V_i = 33\text{ V}; I_o = 1\text{ A}$                           | 23..5 | 24  | 24.5 | V             |
| $\Delta V_v$    | Line Regulation          | $26.7\text{ V} \leq V_i \leq 38\text{ V}$<br>$I_o = 1\text{ A}$ | -     | -   | 240  | mV            |
| $\Delta V_l$    | Load Regulation          | $5\text{ mA} \leq I_o \leq 1.5\text{ A}$                        | -     | -   | 100  | mV            |
| $I_B$           | Quiescent Current        |   | -     | -   | 6    | mA            |
| $\Delta I_{B1}$ | Quiescent Current Change | $V_i = 33\text{ V}; 5\text{ mA} \leq I_o \leq 1\text{ A}$       | -     | -   | 0.5  | $\mu\text{A}$ |
| $\Delta I_{B2}$ | Quiescent Current Change | $27.3\text{ V} \leq V_i \leq 38\text{ V}; I_o = 1\text{ A}$     | -     | -   | 0.8  | $\mu\text{A}$ |

MECHANICAL DATA CASE TO-220

| DIMENSIONS (mm) |       |       |
|-----------------|-------|-------|
|                 | Min.  | Max.  |
| A               | 9,90  | 10,30 |
| B               | 15,65 | 15,90 |
| C               | 13,20 | 13,40 |
| D               | 6,45  | 6,65  |
| E               | 4,30  | 4,50  |
| F               | 2,70  | 3,15  |
| G               | 2,60  | 3,00  |
| H               | 15,75 | 17,15 |
| L               | 1,15  | 1,40  |
| M               | 3,50  | 3,70  |
| N               | -     | 1,37  |
| P               | 0,46  | 0,55  |
| R               | 2,50  | 2,70  |
| S               | 4,98  | 5,08  |
| T               | 2,49  | 2,54  |
| U               | 0,70  | 0,90  |



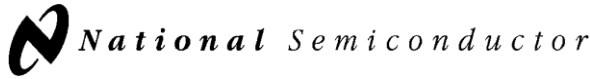
|         |        |
|---------|--------|
| Pin 1 : | Input  |
| Pin 2 : | Ground |
| Pin 3 : | Output |

Revised September 2012

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, Comset Semiconductors assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. Data are subject to change without notice. Comset Semiconductors makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Comset Semiconductors assume any liability arising out of the application or use of any product and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. Comset Semiconductors' products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems.

[www.comsetsemi.com](http://www.comsetsemi.com)

[info@comsetsemi.com](mailto:info@comsetsemi.com)



November 19

## LM79XX Series 3-Terminal Negative Regulators

### General Description

The LM79XX series of 3-terminal regulators is available with these devices with a specified maximum change with line fixed output voltages of  $b_5V$ ,  $b_8V$ ,  $b_{12V}$ , and  $b_{15V}$ . and load ensures good regulation in the voltage boosted These devices need only one external componentDa com- mode.

pensation capacitor at the output. The LM79XX series is For applications requiring other voltages, see LM137 data packaged in the TO-220 power package and is capable of sheet. supplying 1.5A of output current.

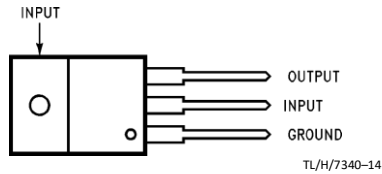
These regulators employ internal current limiting safe area protection and thermal shutdown for protection against vir- y Thermal, short circuit and safe area protection tually all overload conditions.

### Features

- y High ripple
- rejection Low ground pin current of the LM79XX series allows output y 1.5A output
- current voltage to be easily boosted above the preset value with a
- y 4% tolerance on preset output voltage
- resistor divider. The low quiescent current drain of

### Connection Diagrams

TO-220 Package



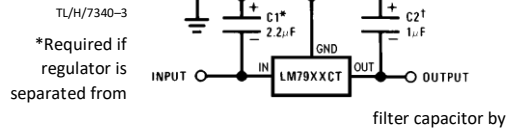
Front View

Order Number LM7905CT, LM7912CT or LM7915CT

See NS Package Number TO3B solid tantalum. 25 mF aluminum electrolytic may be substituted. Values given may be increased without limit.

### Typical Applications

Fixed Regulator



more than 3X. For value given, capacitor must be solid tantalum. 25 mF aluminum electrolytic may be substituted.

\*Required for stability. For value given, capacitor must

For output capacitance in excess of 100 mF, a high current diode from input to output (1N4001, etc.) will protect the regulator from momentary input shorts.