

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Facultad de Ciencias e Ingeniería



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

## RECOLECCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL SISTEMA DE FRENO DE UN ASCENSOR

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecatrónico,  
que presenta el bachiller:

**Miguel Medina Medina**

**ASESOR: Laureano Rodríguez Polo**

**Lima, diciembre del 2015**

## Resumen

Actualmente la conciencia acerca de la falta de energía ha impulsado la creación y desarrollo de nuevas tecnologías capaces de mejorar la eficiencia energética de aquellos sistemas que pierden gran parte de energía al ser disipada en forma de calor. Estas tecnologías proponen la captura y recolección de parte de la energía que se pierde y como consecuencia elevar la eficiencia energética. El presente trabajo plantea una propuesta para el desarrollo e implementación de un sistema capaz de recuperar energía que sería disipada en forma de calor durante el frenado de los ascensores y almacenarla para su reutilización. El desarrollo de este sistema integra conceptos de electrónica y control. Se busca energizar a los sistemas de ventilación e iluminación con corriente directa proveniente de la regeneración de energía y a su vez cumplir con las normas vigentes relacionadas a las condiciones óptimas en las que debe trabajar un ascensor. Se realizará la implementación de un circuito prototipo con el cual se simularán a escala las condiciones de trabajo a escala del ascensor y la captura, almacenaje y utilización de energía. Finalmente, se presentan los resultados experimentales que validan el correcto funcionamiento del circuito y recomendaciones para futuras mejoras con el objetivo de que el sistema propuesto sea utilizado en los ascensores de Lima.

## Agradecimientos

**Quiero dar gracias:**

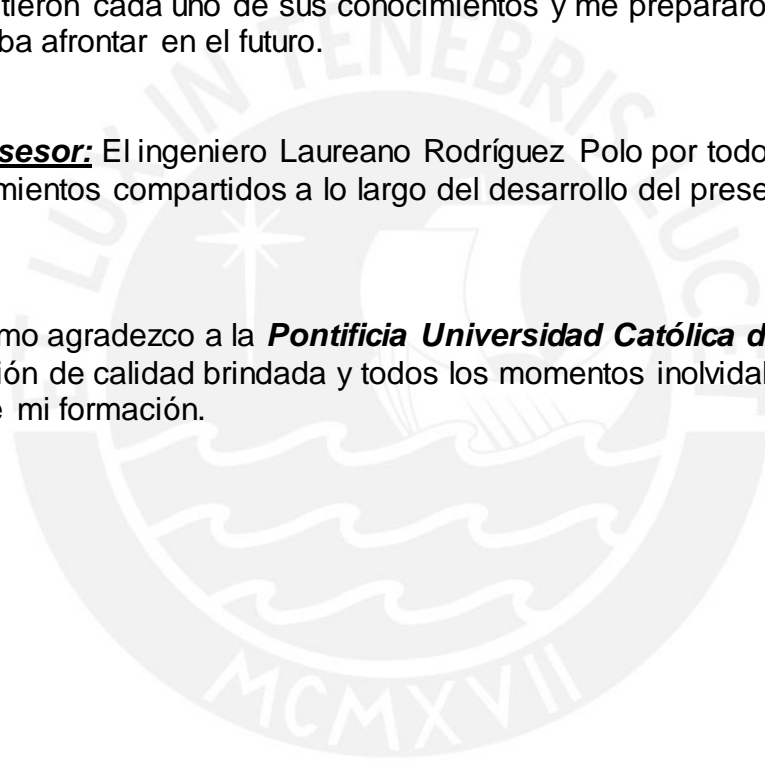
**A mi familia:** Por todo su sacrificio, amor y apoyo brindado que hicieron posible el poder cumplir con una de las metas más importantes de mi vida.

**A mis amigos:** Por todos esos días y noches de estudio y arduo trabajo que en su compañía se convertían en momentos amenos.

**A todos mis maestros:** Quienes a través de su experiencia y sabiduría transmitieron cada uno de sus conocimientos y me prepararon para los retos que deba afrontar en el futuro.

**A mi asesor:** El ingeniero Laureano Rodríguez Polo por todo su apoyo y conocimientos compartidos a lo largo del desarrollo del presente trabajo.

Asimismo agradezco a la **Pontificia Universidad Católica del Perú** por la formación de calidad brindada y todos los momentos inolvidables vividos durante mi formación.



# Contenidos

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1	PRESENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	1
1.1.1	Variadores de frecuencia .....	1
1.1.2	Iluminación y ventilación .....	3
1.1.3	Energy Harvesting .....	4
1.2	ANTECEDENTES.....	5
1.2.1	ERS P3K .....	5
1.2.2	VARIADORES REGENERATIVOS .....	7
1.2.3	OTIS GEN2.....	8
1.3	FORMULACIÓN DE PROPUESTA DE SISTEMA MECATRÓNICO.....	9
1.3.1	Objetivos y Alcances.....	9
1.3.2	Hipótesis .....	10
1.4	METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO.....	11
<b>2</b>	<b>DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO</b> .....	<b>13</b>
2.1	PRESENTACIÓN DE CONCEPTO.....	15
2.2	SISTEMA ELECTRÓNICO .....	17
2.3	SISTEMA DE CONTROL .....	24
<b>3</b>	<b>EXPERIMENTOS Y RESULTADOS</b> .....	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>35</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>37</b>
	ANEXO A: ANÁLISIS Y CÁLCULOS DEL SISTEMA MECATRÓNICO.....	37
	ANEXO B: SISTEMAS ELECTRÓNICOS.....	44
	ANEXO C: PROGRAMAS .....	56
	ANEXO D: PROFORMAS .....	59

## Glosario de Términos

- ADC: Analog to Digital Converter (Conversor Análogo-Digital)
- KERS: Kinetic energy recovery system(Sistema de recuperación de energía cinética)
- VFD: Variable frequency drive(Variador de frecuencia)
- GND: Ground (Tierra)
- LED: Light emitting diode (Diodo emisor de luz)
- PWM: Pulse width modulation(Modulación por ancho de pulsos)
- CC: Corriente continua



## Listado de Figuras

- Figura 1: Diagrama que representa los casos en que el ascensor consume o genera energía
- Figura 2: Bloques fundamentales del sistema de tracción eléctrica con variador
- Figura 3: Esquema general de un variador de frecuencia
- Figura 4: Esquema de funcionamiento de un sistema clásico de frenado dinámico resistivo
- Figura 5: Conexión del ERS P3K
- Figura 6: Flujos de energía en regeneración
- Figura 7: Flujo de energía en absorción
- Figura 8: Diagrama de Bloques del sistema
- Figura 9: Esquema de sistema propuesto
- Figura 10: Esquemático de sistema propuesto para simulación
- Figura 11: Configuración para obtener corriente continua de 1A
- Figura 12: Carga de una batería de 0 a 100% en el tiempo
- Figura 13: Diagrama de flujo
- Figura 14: Flujo de energía para el experimento
- Figura 15: Circuito para generar onda cuadrada
- Figura 16: Ráfaga de pulsos que simula frenado de ascensor
- Figura 17: Gráficos detenidos del circuito para generar onda cuadrada
- Figura 18: Gráficos detenidos de capacitor cargado (celeste) y onda cuadradas de 5V generadas por plataforma Arduino (amarillo)
- Figura 19: Gráficos detenidos de capacitor cargado (celeste) y onda de 48V (amarillo)
- Figura 20: Fotografía de la tarjeta diseñada y la plataforma de control Arduino empleados en la experimentación
- Figura 21: Tarjeta empleada en simulación de sistema

## Listado de Tablas

Tabla 1: Valores técnicos del ERS P3K

Tabla 2: Cronograma de actividades

Tabla 3: Características del capacitor

Tabla 4: Características de la batería

Tabla 5: Características de regulador de voltaje

Tabla 6: Características del Mosfet canal N

Tabla 7: Características de plataforma de control

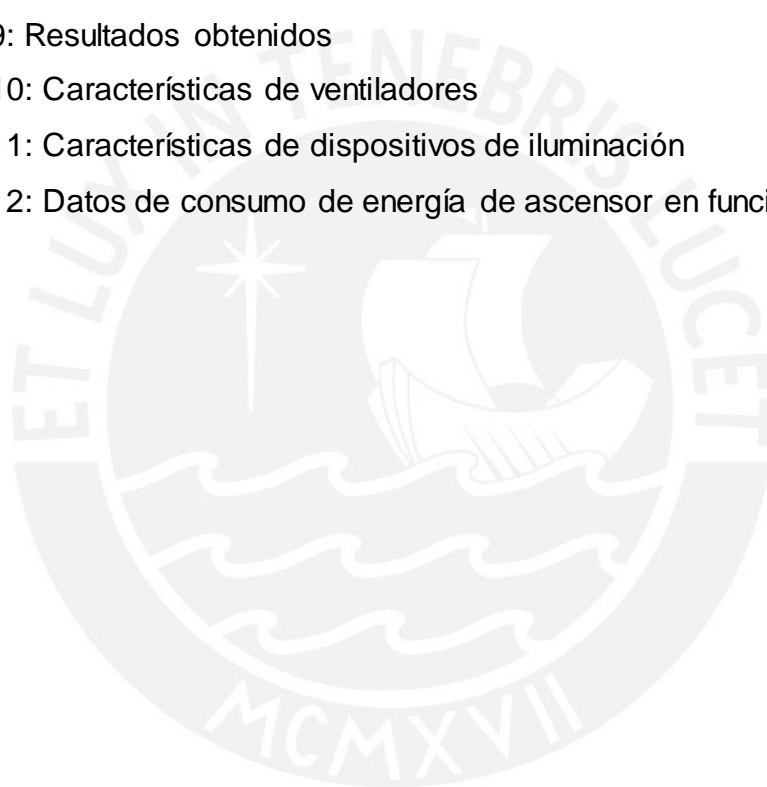
Tabla 8: Características del Mosfet canal P

Tabla 9: Resultados obtenidos

Tabla 10: Características de ventiladores

Tabla 11: Características de dispositivos de iluminación

Tabla 12: Datos de consumo de energía de ascensor en funcionamiento

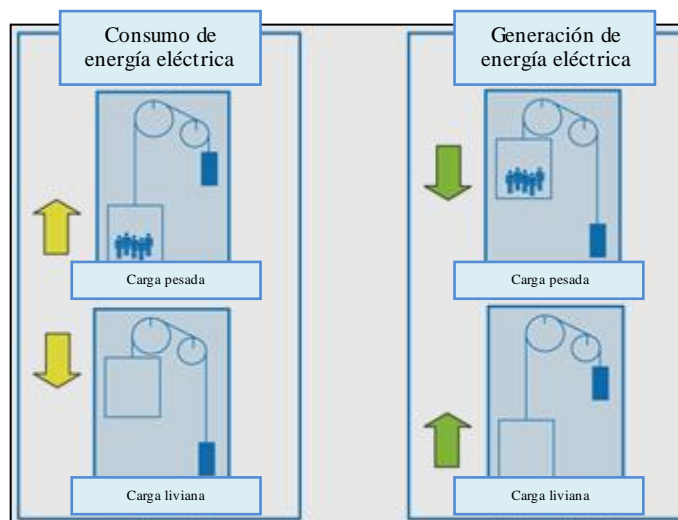


## 1 Introducción

### 1.1 Presentación de la Problemática

En la actualidad la eficiencia energética es una de las principales preocupaciones en las distintas industrias, no sólo por la sostenibilidad medioambiental sino también por el ahorro económico que se puede llegar a obtener. El consumo energético promedio de un ascensor es de 1 830 000 kWh/año, y se sabe que por cada kWh se producen 0.65 kg de dióxido de carbono [1]. “El ascensor representa entre un 3% y un 5% del consumo energético de un edificio. Este consumo se reparte entre el movimiento (21.5%) y la iluminación de la cabina (78.5%) y el 59% de la energía se consume en el modo stand-by.” [2].

Los ascensores eléctricos incorporan un contrapeso. Cuando el ascensor baja relativamente lleno, pesando más que el contrapeso, o bien sube relativamente vacío, con menos peso que el contrapeso, el motor que mueve el ascensor emplea gran parte de su energía en frenar. La desaceleración requiere que la energía cinética sea transferida a algún otro medio o que esta se transforme, en el caso de los ascensores, en calor a través de resistencias.



**Figura 1 Diagrama que representa los casos en que el ascensor consume o genera energía**

Fuente: [3]

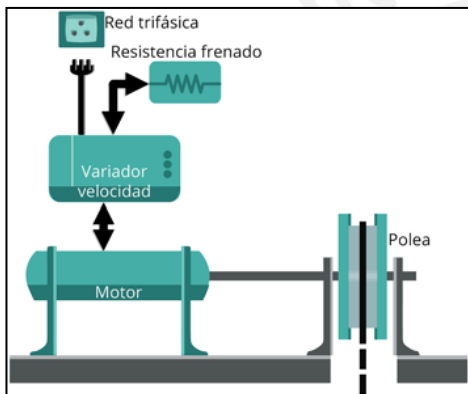
#### 1.1.1 Variadores de frecuencia:

Parte indispensable del sistema que compone el control de la mayoría de ascensores son los variadores de frecuencia. Los variadores de frecuencia son sistemas encargados del control de la velocidad de rotación en motores de corriente alterna. Son también conocidos como VFD. El equipo se alimenta con voltaje de corriente alterna, la cual es convertida en corriente directa mediante el uso de un puente rectificador y un capacitor

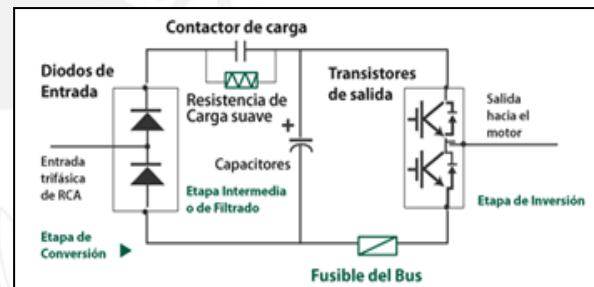


interno. Posteriormente, en la etapa de inversión, la cual está compuesta por transistores, se genera una forma de onda cuadrada de voltaje de CD a una frecuencia constante y su valor promedio tiene la forma sinusoidal de la corriente que se le aplica al motor [4].

Uno de los objetivos principales de los variadores de frecuencia dentro del sistema de frenado de los ascensores es reducir la probabilidad de accidentes, esto gracias a que en muchos casos se pueden programar sus entradas inteligentes con la opción de detención en caso de falla del sistema. Además, con los variadores de frecuencia se prolonga la vida útil tanto del motor del ascensor, como de las partes mecánicas asociadas, gracias a que evita el daño producido por los sobreesfuerzos eléctricos y mecánicos en cada partida directa. Se consigue también un ahorro energético debido a la eliminación de los sobreesfuerzos. Así mismo, los variadores de frecuencia permiten eliminar los contactores, que requieren constante mantenimiento y reposición [4,5].

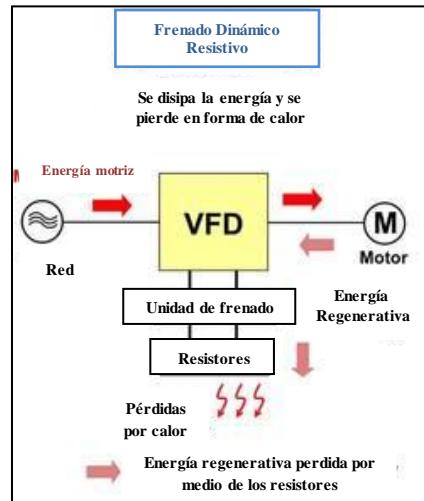


**Figura 2 Bloques fundamentales del sistema de tracción eléctrica con variador**  
Fuente: [6]



**Figura 3 Esquema general de un variador de frecuencia**  
Fuente: [4]

Cuando la velocidad de giro de un motor es controlada por un variador de frecuencia, la energía eléctrica llevada al motor es regenerada mientras el motor desacelera mediante la aplicación de un torque negativo al eje del motor. Por lo general la capacidad de almacenamiento de energía en el VFD es muy limitada, como consecuencia la energía regenerada debe ser retornada a la red o rápidamente disipada en un banco de resistencias. De lo contrario, el bus de CC se sobrecargará y se producirá un fallo por sobretensión. Las resistencias de frenado dinámico han sido ampliamente usadas para convertir la energía regenerada en energía calorífica, la cual representa pérdidas, debido a su simplicidad y su bajo costo de instalación [7].



**Figura 4 Esquema de funcionamiento de un sistema clásico de frenado dinámico resistivo**

Fuente: [7]

### 1.1.2 ILUMINACIÓN Y VENTILACIÓN:

La mayoría de las cabinas de los ascensores están equipadas con dos fluorescentes de entre 20 y 40 W, cada uno, podemos calcular una media de 60 W por ascensor. Si la iluminación de la cabina está permanentemente encendida, 24 horas al día, los 365 días al año, lo que supone un consumo medio anual por ascensor de 525 kWh [8]. Según la norma EN 81-2 se debe asegurar un mínimo de 50 lux en el suelo y en los dispositivos de control. En el caso del cuarto de máquinas se deben asegurar 200 lux a nivel del suelo.

La ventilación, calefacción y aire acondicionado puede representar cerca del 40% del consumo de energía en muchos edificios e instalaciones [9]. Para ambos casos se requieren tomar medidas que eleven la eficiencia energética de los ascensores. Se deben buscar nuevas tecnologías que requieran un bajo costo energético y que tengan un performance igual o mejor a los dispositivos que se utilizan actualmente. La humedad relativa no debería ser mayor al 65%. Además, según esta norma, se consideran los ascensores como pequeñas oficinas a lo cual corresponde un flujo de entrada de aire externo por persona de  $20m^3/h$ .

### 1.1.3 ENERGY HARVESTING:

Una opción para poder aumentar la eficiencia de estos sistemas de freno es la aplicación del concepto de “Cosecha de Energía” (o “*Energy Harvesting*”). La cosecha de energía es el proceso de captura de pequeñas cantidades de energía, acumulándola y almacenándolas para su uso posterior. Los cosechadores de energía son entonces dispositivos que en forma efectiva y eficiente, acumulan, almacenan, acondicionan y administran esta energía y la suministran de tal forma que puede ser utilizada para realizar una tarea útil [10]. En general la energía puede ser almacenada en capacitores, súper capacitores o baterías. Los capacitores son usados cuando la aplicación requiere grandes picos de energía. Las baterías brindan menos energía instantánea, por lo tanto, se utilizan cuando el dispositivo requiere un flujo constante de energía.

#### *Componentes de un sistema de Energy Harvesting*[11]:

- Un dispositivo de conversión de energía.
- Un módulo de recolección de energía que captura, almacena y administra la energía para el dispositivo.
- Una aplicación final.

#### *Componentes opcionales* [11]:

- Un dispositivo de interfaz electrónico.
- Un dispositivo adicional de almacenamiento de energía.
- Un módulo de gestión de energía o potencia que regule o condicione la salida de potencia de los dispositivos de almacenamiento de energía suplementarios.

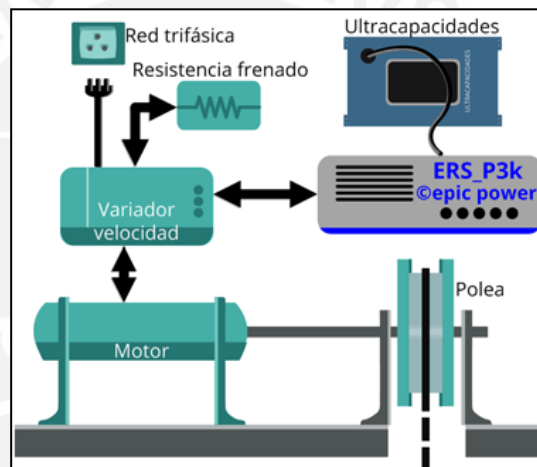
## 1.2 Antecedentes

En los siguientes párrafos se encontrarán sistemas desarrollados previamente que servirán de referencia para la implementación del proyecto de tesis.

### 1.2.1 ERS P3K [6]

El ERS P3K fue creado por la empresa Epic Power en colaboración con la Universidad de Zaragoza. Este sistema almacena la energía, que en otros casos se disiparía en forma de calor, en ultracapacitores. El ERSP3k es un convertidor bidireccional de potencia muy eficiente que permite almacenar la energía que genera un motor de ascensor cuando frena y reutilizarla más tarde, cuando el motor lo requiere.

Dependiendo del movimiento y el peso de la carga, el ascensor consumirá o devolverá energía. El sistema de recuperación de ERS P3K se conecta directamente al variador de velocidad como se muestra en la Figura 5.



**Figura 5 Conexión del ERS P3K**  
Fuente: [6]

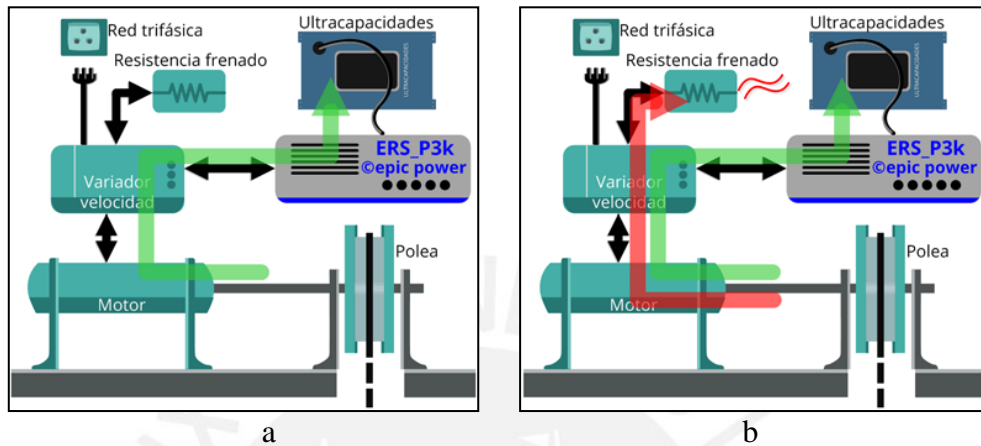
El sistema de recuperación de energía eléctrica posee un almacén de energía basado en ultracapacitores y un convertidor DC/DC que está localizado entre los ultracapacitores y el variador de velocidad. El convertidor DC/DC se encarga del intercambio de energía entre las ultracapacitores y el variador de velocidad. La característica fundamental del ERS P3k es que la conexión con el variador es muy sencilla y se realiza mediante 3 cables (positivo, negativo y tierra), sin necesidad de ningún tipo de adaptación o preparación.

La Fig. 6 muestra los flujos de energía en el caso de regeneración (ascensor devolviendo energía). Como se observa en la Fig. 6.a, la energía regenerada puede ser totalmente almacenada en el ERS P3k. Puede haber casos en los que el ERS P3k no puede almacenar toda la energía regenerada, como por ejemplo:

- Cuando el sistema de ultracapacitores está cargado.

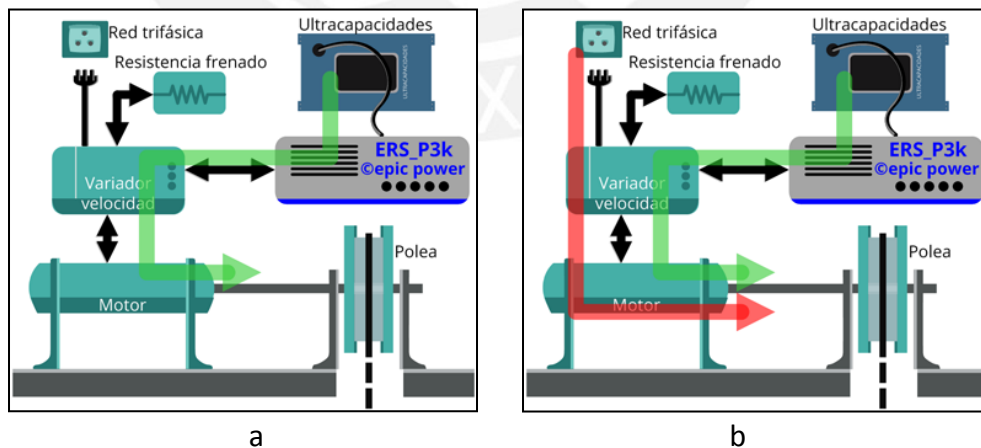
- Cuando la potencia de regeneración es mayor que la que el ERS P3k puede absorber.

Estos casos no presentan ningún problema ya que *la energía regenerada que no pueda ser almacenada* en el ERS P3k se llevará, de forma automática, a la resistencia de frenado convencional, disipándola en forma de calor (Fig. 6.b).



**Figura 6 Flujos de energía en regeneración**  
Fuente: [6]

La Fig 7 muestra el flujo de energía cuando el ascensor absorbe energía. El ERS detectará automáticamente esta situación e inyectará la energía requerida por el ascensor, ver Fig. 7.a. Si el ERS no es capaz de proporcionar toda la energía requerida (por haberse agotado ésta o por no alcanzar la potencia exigida), el variador absorberá la energía complementaria de forma convencional desde la acometida de tensión trifásica (Fig. 7.b).



**Figura 7 Flujo de energía en absorción**  
Fuente: [6]

Este sistema puede conectarse a cualquier sistema de tracción que cuente con un variador de frecuencia. No interfiere en el funcionamiento convencional del sistema de tracción. También se debe tener en cuenta que este sistema no elimina la necesidad de la existencia de un banco de

resistencias que disipe parte de la energía en calor, ya que el ERS P3K no regenera el 100% de la energía. En casos óptimos, el ahorro puede ser de hasta el 45% del consumo del motor del ascensor.

**Tabla 1 Valores técnicos del ERS P3K**

Fuente: [6]

	<b>Características principales</b>
<b>Potencia nominal</b>	3.75 kW
<b>Potencia escalable</b>	Sí, (máx. 20 kW)
<b>Energía nominal (escalable)</b>	80 kJ (sin límite)
<b>Eficiencia unidireccional</b>	98%
<b>Eficiencia bidireccional</b>	95%
<b>Tensión de entrada</b>	500 – 800 V
<b>Tensión en ultracapacidades</b>	32 – 48 V

### 1.2.2 VARIADORES REGENERATIVOS

- THYSENKRUPP:** Este sistema regenerativo “cosecha” energía del frenado de los ascensores. De acuerdo con ThyssenKrupp, cerca del 30% de la energía en un ascensor se pierde en forma de calor. Con el uso del sistema ThyssenKrupp sólo se llega a perder un 5% de la energía. Estos dispositivos aseguran una alta eficiencia energética en los ascensores, según la norma alemana VDI 4701-1 “Elevators, energy efficiency”. Además, este dispositivo devuelve energía a la red en los estados favorables de carga, es decir, cuando el ascensor baja con más de media carga de su capacidad nominal o cuando sube con menos de media carga de su capacidad nominal. Esta energía, que de otra forma se perdería en forma de calor disipado, puede ser utilizada por otros ascensores o sistemas del edificio. Típicamente es posible ahorrar hasta un 25% de la energía que consume la tracción del ascensor respecto al mismo ascensor con un variador de frecuencia convencional [13].  
 Características:
  - Baja potencia: 15kW y 30kW (380V)
  - Alta potencia: 40kW, 60kW y 80kW (220V, 380V, 440V y 480V)
  - Adaptable tanto a ascensores modernos como antiguos.
- MITSUBISHI ELECTRIC:** Variadores de frecuencia FR A741 de Mitsubishi Electric incorpora una función de freno regenerativo que conserva energía y reduce costes en aplicaciones de alto par como grúas y otros aparatos elevadores, bobinadoras, transportadores, máquinas de ensayo y separadores centrífugos. La función de regeneración también posibilita



obtener sistemas de accionamiento de menor volumen y más económicos con dispositivos de control eléctrico más simples y compactos. Como consecuencia se requieren hasta el 60% menos en cableado de alimentación y ocupan hasta el 40% menos en volumen que las soluciones convencionales en función de la capacidad nominal del variador de frecuencia. La gama FR A741 incluye en la actualidad 10 variadores de frecuencia con potencias de 5,5 kW a 55 kW. Todas estas unidades están particularmente indicadas para trabajos con ciclos de aceleración y deceleración frecuentes, así como aplicaciones en las que normalmente empleen resistencias de frenado. En conformidad con normas internacionales, los variadores FR A741 ofrecen confianza de uso tanto a fabricantes de equipos originales como a usuarios independientes de accionamientos. Todos los variadores de la gama tienen la marca CE, las certificaciones UL, cUL y GOST y cumplen con la Directiva 73/23/EEC de Baja Tensión y la Directiva 98/37/EC de Maquinaria Variador FR de la UE” [14].

- **YASKAWA [15]:** La empresa Yaskawa tiene entre sus productos la unidad RC5 la cual puede reemplazar la unidad de resistencias de frenado en aplicaciones de alta exigencia. El RC5 está instalado en paralelo al VFD y solo se maneja el poder de regeneración. El controlador se encarga de dirigir la energía motriz regenerada a través de su propio puente de diodos. Esta unidad es ideal para aplicaciones con grandes cargas y paradas frecuentes, tales como ascensores, centrífugas, etc. Esta unidad es más pequeña que el banco de resistencias para el frenado, no genera pérdidas por calor y no genera problemas para su ubicación debido a su tamaño compacto.

### 1.2.3 OTIS GEN2

Los controladores regenerativos, empleados por esta empresa, aseguran un ahorro energético de hasta el 75%. Los drives minimizan la distorsión de onda sinusoidal de la corriente de entrada, haciendo que la Distorsión Total Armónica típica con carga nominal sea igual o inferior al 5 %, contrastando con los drives no regenerativos que llegan a distorsiones por encima del 80 %. Esto quiere decir que los VFD regenerativos de OTIS generan ondas de corriente muy cercanas a la forma sinusoidal pura, lo cual produce una menor contaminación en el sistema eléctrico del edificio y ayuda a proteger los equipos más sensibles. Están diseñados para funcionar con voltajes estándar, 170 a 528 voltios [16].

### 1.3 *Formulación de Propuesta de Sistema Mecatrónico*

#### 1.3.1 **Objetivos y Alcances**

El objetivo principal del presente trabajo de tesis es el desarrollo de un sistema mecatrónico capaz de almacenar la energía que, por lo general, se pierde en forma de calor en el frenado de los ascensores. También se hace referencia a los posibles dispositivos de iluminación y ventilación, esto con el objetivo de saber cuánta energía se requiere almacenar. La energía se almacena en capacitores, un concepto diferente a una batería y adecuado al ciclado y a los picos de potencia que hacen que las baterías convencionales envejezcan muy rápidamente. A través del concepto de “energy harvesting” esta energía sería empleada la iluminación y la ventilación del mismo ascensor. Para lograr esto se hará uso de conceptos de electrónica y control, además de una implementación del circuito electrónico para demostrar su efectividad.

Objetivos Específicos:

- Aumentar la eficiencia energética del ascensor mediante la aplicación del concepto de “energy harvesting”.
- Diseñar un circuito que sea capaz de soportar los altos potenciales con los que trabajan los ascensores.
- Contar con un medio de almacenamiento de energía capaz de soportar los grandes picos de energía.
- Maximizar el ahorro de energía mediante el uso de iluminación por medio de focos LED de corriente continua.
- Proporcionar corriente continua y así evitar el uso de un inversor, ya que eleva considerablemente el costo del sistema.



## Requerimientos (Alcances):

### Requerimientos Mecánicos

- El sistema de ventilación debe cumplir con los requerimientos de las norma EN 81-1 y EN 81-2.

### Requerimientos Electrónicos

- El circuito diseñado debe ser capaz de aumentar la eficiencia energética del ascensor.
- Se debe poder proveer energía al sistema de iluminación y al sistema de ventilación.

### Requerimiento de Control

- El sistema debe poder controlar la carga y descarga en ambas etapas de almacenamiento de energía.

### 1.3.2 Hipótesis

Si gran parte de la energía para el movimiento de la cabina de los ascensores se pierde durante el frenado, entonces será posible diseñar un sistema capaz de almacenar esta energía para su posterior reutilización.

#### **1.4 Metodología y Plan de Trabajo**

En primer lugar se revisará literatura científica y tecnológica que sustente el desarrollo de un sistema capaz de almacenar y reutilizar la energía que se perdería en forma de calor durante el frenado de los ascensores. Se realizará luego una revisión exhaustiva de material bibliográfico sobre sistemas capaces de utilizar la energía regenerativa para elevar la eficiencia de los ascensores.

En segundo lugar, se diseñará el circuito electrónico capaz de recolectar y almacenar la energía para su posterior uso. Posterior al diseño se realizará la selección de componentes del circuito que cumplan con los requerimientos. Luego se seleccionarán los LEDs y el sistema de iluminación que cumplan con las normas vigentes y sean compatibles con el circuito diseñado. En esta parte se presentarán planos electrónicos y diagramas de control.

En tercer lugar se realizará la implementación a escala del sistema propuesto a escala para realizar pruebas de validación en un ambiente controlado. Se trabajará con un voltaje mucho menor al que se trabaja con los ascensores en situaciones reales por motivos de seguridad. Éstas serán señales cuadradas de voltaje, generadas por medio de una plataforma Arduino, similares a las que se obtuvieron durante un estudio previo a los ascensores. Al final de esta parte se obtendrán resultados que validarán el funcionamiento del circuito diseñado.

	MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<b>1. LITERATURA</b>																				
1.1 Definición de requerimientos y funciones																				
1.2 Revisión de literatura y estado del arte																				
1.3 Evaluación de fuentes																				
<b>2. DISEÑO DEL PROTOTIPO</b>																				
2.1 Concepto de solución																				
2.2 Diseño electrónico																				
2.3 Selección de componentes electrónicos																				
2.4 Selección de componentes mecánicos																				
<b>3. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO</b>																				
3.1 Ensamble del sistema																				
3.2 Pruebas experimentales																				
<b>4. CONCLUSIONES</b>																				
4.1 Análisis de resultados																				
4.2 Elaboración de conclusiones																				
<b>5. PRESENTACIÓN DE DOCUMENTOS DE TESIS</b>																				
5.1 Documentación del proyecto																				
5.2 Preparación del documento final																				

Tabla 2 Cronograma de actividades

## 2 Diseño del Sistema Mecatrónico

Para lograr el frenado del ascensor, el motor genera un torque inverso. Al girar el rotor en un sentido y generar un torque de frenado en un sentido contrario se genera contracorriente. En las siguientes líneas se explica el funcionamiento del sistema reutilizando la energía regenerada durante el frenado, basándonos en el diagrama de bloques representado en la Figura 8.

Luego que la energía regenerada es captada durante el frenado del motor, esta ingresa a nuestro sistema. Se mantiene el flujo de energía en un solo sentido para evitar su retorno al sistema motriz del ascensor. Debido a que la energía ingresa en forma de una secuencia de picos de muy alto voltaje y muy poca duración, se optó por almacenar la energía en una primera etapa en capacitores o supercapacitores. Previo al almacenamiento, un microcontrolador evitará el paso de ésta a la segunda etapa de almacenamiento por medio de un MOSFET. Una vez llenos los capacitores, el microcontrolador permitirá la transferencia de energía. Puede darse el caso en que los capacitores se encuentren llenos y siga ingresando energía, para este caso se optó por disipar la energía sobrante en forma de calor en un banco de resistencias.

Posteriormente, la energía almacenada en la primera etapa fluye por medio de un convertidor de voltaje, con el objetivo de obtener la magnitud de voltaje con que trabajan los dispositivos de ventilación e iluminación del ascensor (24V por lo general). La segunda etapa de almacenaje consta de una batería, esto debido a que su naturaleza de alto tiempo de carga y descarga lo hace apto para alimentar otros dispositivos. La distribución de energía se da por medio de cables.

Finalmente la energía alimenta dispositivos de iluminación y ventilación. Estos dispositivos deben cumplir con ciertas normas, las cuales se especifican y son empleadas como referencia para el cálculo y selección de componentes en el anexo A. En todo momento se trabaja con corriente directa debido a que la energía captada se encuentra en ese estado. Para convertir la corriente directa en corriente alterna es necesario el uso de un inversor y esto, como consecuencia, eleva los costos enormemente. Mientras más cercana sea la señal de salida del inversor a una señal tipo sinusoidal pura, más costoso será este dispositivo. Por lo tanto, no se hará uso de un inversor, y los componentes de iluminación y ventilación serán alimentados con corriente directa.

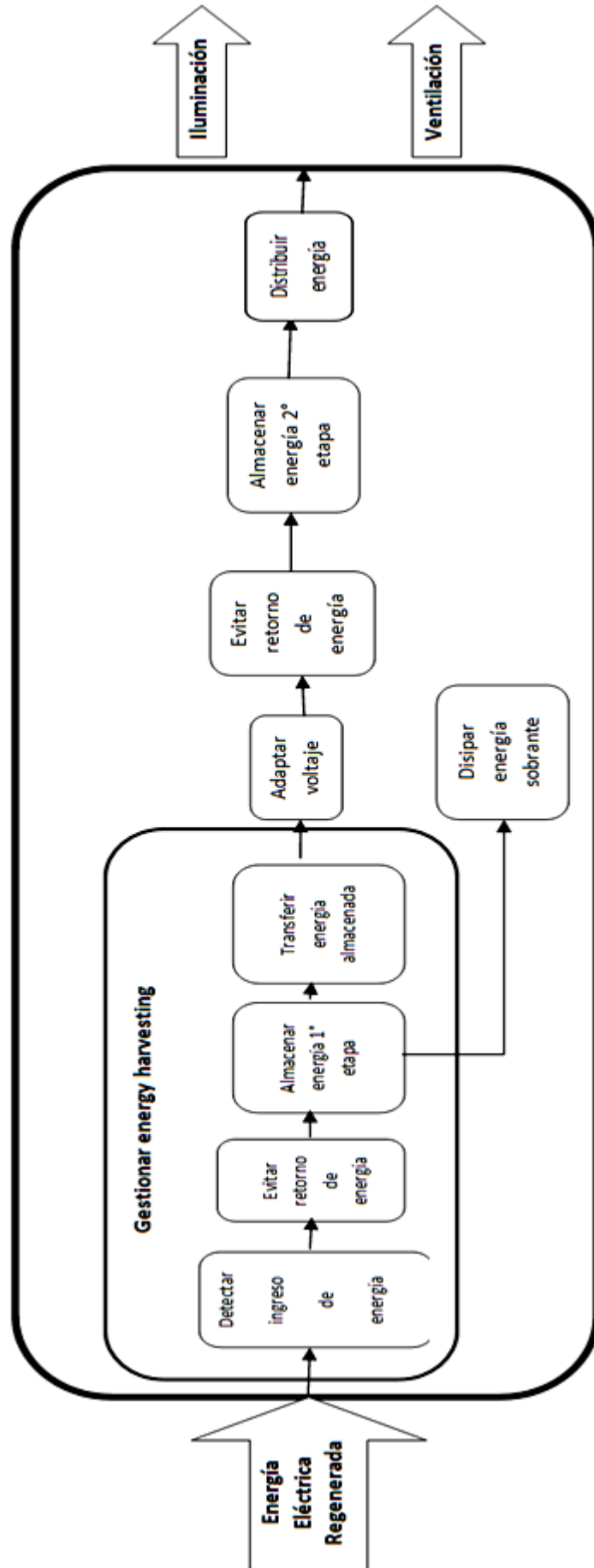


Figura 8 Diagrama de Bloques del sistema

## 2.1 Presentación de Concepto

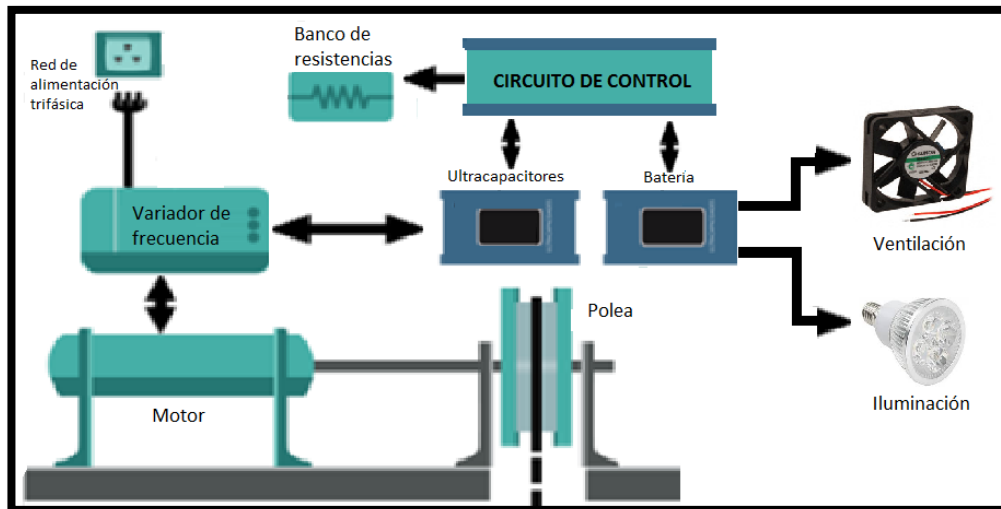


Figura 9 Esquema de sistema propuesto

El presente trabajo de tesis plantea captar y utilizar la energía regenerada durante el frenado en el motor del ascensor y evitar la pérdida directa disipándola en forma de calor. Como se observa en la Figura 7, se plantea el diseño de un sistema de control capaz de manejar el almacenamiento de energía eléctrica. Debido a las características con que la energía ingresa a nuestro sistema y a los requerimientos de los dispositivos de salida, se plantean 2 etapas de almacenamiento.

La energía ingresa en forma de pulsos de muy alto voltaje y poca duración, esto se puede apreciar en las gráficas presentadas en la sección 7.1.4, perteneciente al anexo A. Si se quisiera almacenar este tipo de energía directamente en una batería, reduciríamos considerablemente la vida útil de ésta. En su lugar se decidió trabajar con capacitores o supercapacitores ya que su tiempo de carga y descarga es mucho más bajo. Para poder demostrar el funcionamiento del sistema propuesto se implementará un sistema de simulación con un bajo voltaje, en el anexo A se procederá a calcular los componentes necesarios. Se mantiene, como parte del sistema, un banco de resistencias ya que se puede dar el caso en que la primera etapa de almacenamiento se encuentre llena y siga ingresando energía, la cual debería ser disipada en forma de calor necesariamente. La energía ingresante siempre será almacenada en los condensadores para

evitar el ingreso de estos pulsos directamente a las baterías, si esto sucediese las baterías se verían afectadas de manera perjudicial.

El voltaje de salida debe darse a 24V ya que es una magnitud estándar con que trabajan los dispositivos de iluminación y ventilación dentro de la cabina del ascensor. Previo a la alimentación de los dispositivos de iluminación y ventilación se tiene la segunda etapa de almacenamiento. Esta segunda etapa está conformada por una o varias baterías dependiendo de la potencia requerida. Los cálculos respectivos a esa etapa de almacenamiento se encuentran en la sección 7.1.5, perteneciente al anexo A. Se seleccionaron baterías debido a su naturaleza de largo tiempo de descarga, aptos para alimentar los dispositivos de salida.

El circuito de control estará conformado por una plataforma Arduino, el cual controlará el flujo de energía mediante señales enviadas a MOSFETs y detectará el llenado de ambas etapas de almacenamiento.

Como se estableció anteriormente, se implementará un sistema de simulación para poder verificar su funcionamiento. Se simularán los picos de voltaje generados por el frenado del ascensor pero con picos de 48V. En el anexo A se calculan magnitudes y dispositivos tanto para funcionamiento real como para la simulación. Los dispositivos siguen siendo del mismo tipo, es decir, para la primera etapa tenemos capacitores o supercapacitores y baterías para la segunda etapa, ya que es necesario mantener la naturaleza de carga y descarga de estos componentes. Los resultados a mostrar serán los adquiridos durante la simulación, demostrando así la efectividad del sistema propuesto en este trabajo de tesis.



## 2.2 Sistema Electrónico

El esquemático presentado en la Figura 10 muestra el circuito propuesto para la simulación. Se tiene como entrada al circuito una señal de onda cuadrada de picos de 48 V y de muy poca duración, la cual simulará el ingreso de la energía regenerada durante el frenado del ascensor. El flujo de energía que ingresa es bloqueado por el MOSFET evitando así éste pase directamente a las baterías. Debido a la naturaleza con que ingresa la energía, ésta se debe almacenar en primera instancia en los capacitores. Los capacitores deben ser de un voltaje nominal mayor a los 48V, en este caso se emplearon capacitores de 63 V y, según los cálculos hechos en el Anexo A, se requieren un mínimo de 4896  $\mu$ F para almacenar el tren de impulsos más largo presentado en las gráficas de la sección 7.1.4, perteneciente al anexo A. Se tiene un divisor de voltaje en paralelo al condensador, con el objetivo de conocer el voltaje del mismo mediante la salida del divisor de voltaje. El divisor de voltaje debe brindar un potencial menor o igual a 5V, ya que es el límite para una entrada a la plataforma Arduino. Las salidas de los divisores de voltaje estarán conectadas al Arduino que se encargará del control. En la sección “Sistema de Control” se describirá con más detalle el uso de las salidas de los divisores de voltaje con relación a la plataforma Arduino.

El MOSFET permitirá el flujo de la energía o lo bloqueará y será controlado por el microcontrolador. Cuando se permite el flujo de energía hacia la segunda etapa de almacenaje, ésta ingresa al regulador de voltaje LM317HV. Este regulador de voltaje es apto para la simulación debido a su rango de voltaje de entrada y de salida especificados más adelante. Para la simulación a desarrollar se le dio la configuración presentada en la Figura 11, ya que se requiere recolectar energía en la segunda etapa mediante corriente continua.

La segunda etapa de almacenamiento consta de 2 baterías en serie de 12V, ya que se requiere generar 24V. Otro criterio adicional para la selección de baterías son los amperios-hora que deben brindar, para este caso debe brindar como mínimo 1.2A-h (magnitud de amperios-hora calculada en el



Anexo A). En la implementación se usaron baterías de 4A-h. Las baterías son cargadas con corriente continua para tener una referencia del tiempo aproximado que demora la carga. Las baterías en un inicio poseen 12V y elevan su voltaje con una pendiente constante (como se observa en la Figura 12) siempre y cuando se recargue con una corriente constante (requerimiento que se cumple con la configuración de la Figura 11). Al momento de estar cargado en su totalidad se tiene 13.8V en cada batería y se mantiene constante a partir de ese momento. Como se observa en el esquemático de la Figura 10, se tiene un divisor de voltaje en paralelo a las baterías, este divisor también tiene por objetivo escalar el voltaje referenciando los 27.6V, que brindarían las baterías a un 100% de su carga, a 5V para que así sea usado como entrada para la plataforma Arduino. La forma de uso de esta entrada y la lógica aplicada será explicada en la sección “Sistema de control”. Como se observa tanto para la primera como para la segunda etapa de almacenamiento de energía se tienen diodos que evitarán el retorno de la energía.

La salida de la energía se dará en forma de corriente continua ya que los dispositivos de iluminación y ventilación serían energizados con estas baterías. En la simulación no se implementarán estos dispositivos finales (LEDs y ventiladores) debido a que son dispositivos que tendrían que importarse. Sin embargo, estos dispositivos consumen muy baja potencia y por lo tanto aportan a elevar la eficiencia del ascensor. También se tienen calculados la cantidad de dispositivos a usar y su potencia total para la situación real, todos estos cálculos en el anexo A.

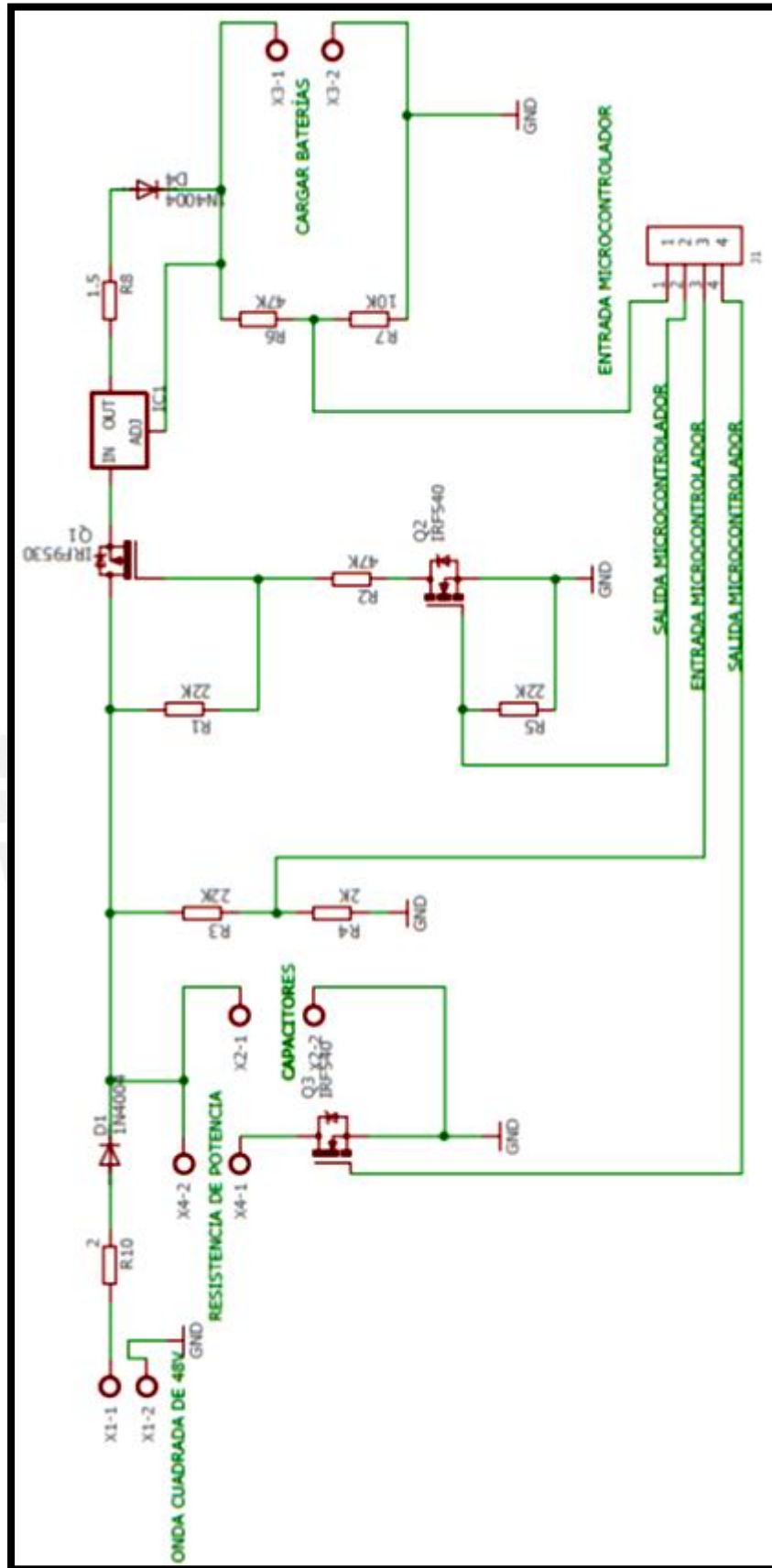


Figura 10 Esquemático de sistema propuesto para simulación

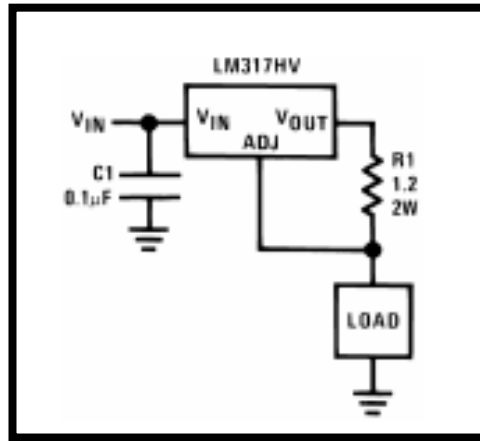


Figura 11 Configuración para obtener corriente continua de 1A

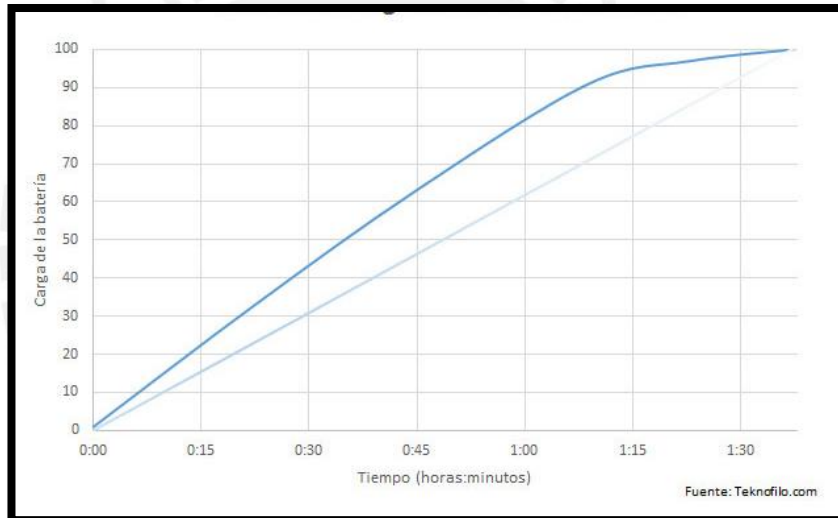


Figura 22 Carga de una batería de 0 a 100% en el tiempo

En la Tabla 3 se tienen las características del capacitor empleado para la implementación del sistema propuesto. La primera etapa de almacenamiento está compuesta por este dispositivo.

**Tabla 3 Características del capacitor**

CAPACITOR	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voltaje: 63 V</li> <li>• Capacitancia: 4700uF</li> <li>• Marca: Chang</li> <li>• Tolerancia: <math>\pm 20\%</math></li> </ul>


En la Tabla 4 se dan a conocer las características de las baterías a emplear. Estas baterías son la segunda etapa de almacenamiento.

**Tabla 4 Características de la batería**

BATERÍA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recargable</li> <li>• Química de batería: Plomo-ácido</li> <li>• Voltaje nominal: 12V</li> <li>• Capacidad: 4 Amperios-hora</li> <li>• Marca: Opalux</li> <li>• Modelo: DH240</li> </ul>

En la Tabla 5 se tienen las características del regulador de voltaje LM317HV el cual permite o evita el flujo de energía desde la primera etapa de almacenamiento hacia la segunda etapa.

**Tabla 5 Características de regulador de voltaje**

<b>REGULADOR DE VOLTAJE LM317HV</b>	<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salida de voltaje: 1.25V – 57V</li> <li>• Entrada de voltaje: 4.2V – 60V</li> <li>• Empaque: TO 220</li> <li>• Temperatura de operación: 0°C – 125°C</li> </ul>

En la Tabla 6 se encuentran las características del MOSFET canal N irf540. Estos MOSFET se encontrarán en estado de corte o conducción dependiendo de la señal que emita el ARDUINO.

**Tabla 6 Características de Mosfet canal N**

<b>MOSFET (canal N) irf540</b>	<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corriente (consumo continuo): 33A</li> <li>• Empaque: TO 220</li> <li>• Voltaje DS: 100V</li> </ul>

En la Tabla 7 se encuentran las características más importantes de la plataforma de control ARDUINO, el cual controlará el flujo de la energía en el circuito diseñado.

**Tabla 7 Características de plataforma de control**

ARDUINO UNO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pines I/O : 14</li> <li>• Corriente I/O: 40mA</li> <li>• Frecuencia: 16MHz</li> <li>• Voltaje de operación : 5V</li> <li>• Microcontrolador: Atmega 328</li> </ul>

En la Tabla 8 se encuentran las características del MOSFET canal P irf9540. Estos MOSFET se encontrarán en estado de corte o conducción dependiendo de la señal que emita el ARDUINO.

**Tabla 8 Características de Mosfet canal P**

MOSFET (canal p) irf9540	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corriente (consumo continuo): 23A</li> <li>• Empaque: TO220</li> <li>• Voltaje DS: 100V</li> </ul>



### 2.3 Sistema de Control

Antes de explicar la lógica del diagrama de flujo se procederá a describir las entradas de la plataforma de control. Como entradas se tienen el voltaje de salida del divisor de voltaje paralelo al capacitor, y el voltaje de salida del divisor de voltaje paralelo a las baterías. En el caso del divisor de voltaje en la primera etapa de almacenaje (capacitor) se tiene por objetivo detectar cuando el condensador se encuentra cargado en un 95%, es decir, cuando el capacitor posee un voltaje aproximado a 59.85V. En el caso del divisor de voltaje en la segunda etapa de almacenaje (baterías), el objetivo es obtener un voltaje aproximado de 5V cuando las baterías lleguen a estar cargadas, es decir, cuando ambas baterías poseen un voltaje total aproximado a 27.6V. En ambos casos se desea obtener 5V como máximo a la salida de los divisores de voltaje debido a que la plataforma Arduino trabaja con esta magnitud de voltaje. La detección de las cargas en condensadores y baterías se da mediante el ADC de la plataforma Arduino que escala los 5V a 1024 valores. En otras palabras cada número perteneciente al rango de 1024 representa 4.88mV.

Se tienen dos salidas de la plataforma de control las cuales están conectadas a 2 Mosfet de canal N (irf540). El primero pertenece a la primera etapa de almacenamiento y cumple la función de permitir o bloquear el flujo de energía a través de la resistencia que la disipa en forma de calor. El segundo Mosfet se encuentra previo al ingreso del regulador de voltaje LM317HV y cumple la función de permitir o restringir el flujo de energía hacia la segunda etapa de almacenamiento.

En un inicio, el Mosfet que controla el flujo de energía al regulador de voltaje LM317HV se mantiene en corte debido a que no se envía ninguna señal al Gate de éste, factor que nos es favorable ya que en un inicio no se desea que la energía ingrese directamente a la segunda etapa de almacenamiento. Luego se verifica si es que el condensador se encuentra en un 95% de su carga, como indicador de esto se tiene el divisor de voltaje paralelo al capacitor (descrito anteriormente). En caso el condensador NO se encuentre lleno, el Mosfet relacionado a la resistencia

de disipación se mantendrá en modo corte (como un interruptor abierto). Entonces todo el flujo de energía será dirigido al capacitor y constantemente se verificará si es que el capacitor se encuentra cargado. En caso el capacitor se encuentre cargado se procede a verificar si las baterías se encuentran llenas de energía. En caso las baterías también se encuentren en un 100% de su carga se procede a poner el Mosfet de la resistencia de disipación en estado de conducción, disipando así la energía sobrante en forma de calor. También se procede a cambiar el Mosfet que permite el flujo de energía a la segunda etapa de almacenamiento a modo corte. Para el caso en que las baterías aún NO se encuentren cargadas plenamente se pone en estado de conducción al Mosfet del regulador de voltaje y se mantiene así hasta que las baterías lleguen a estar cargadas

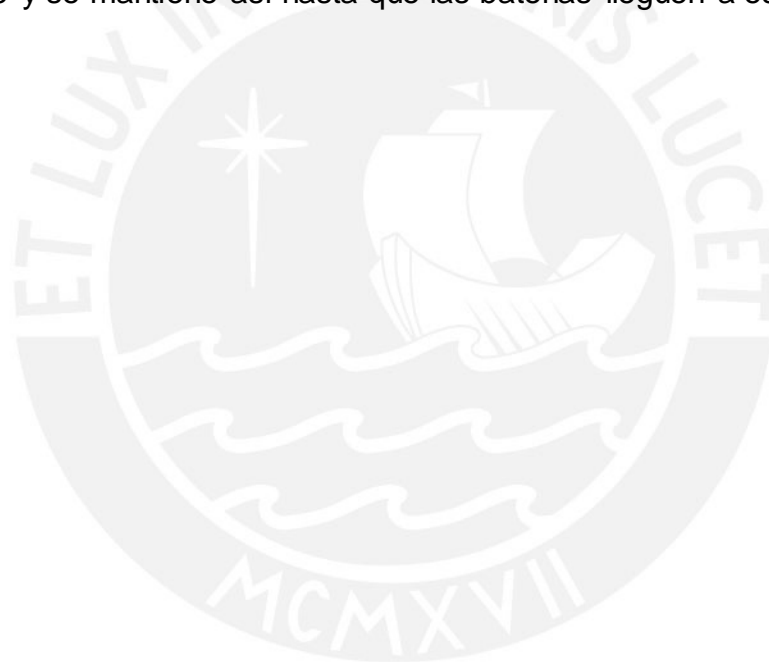




Diagrama de flujo:

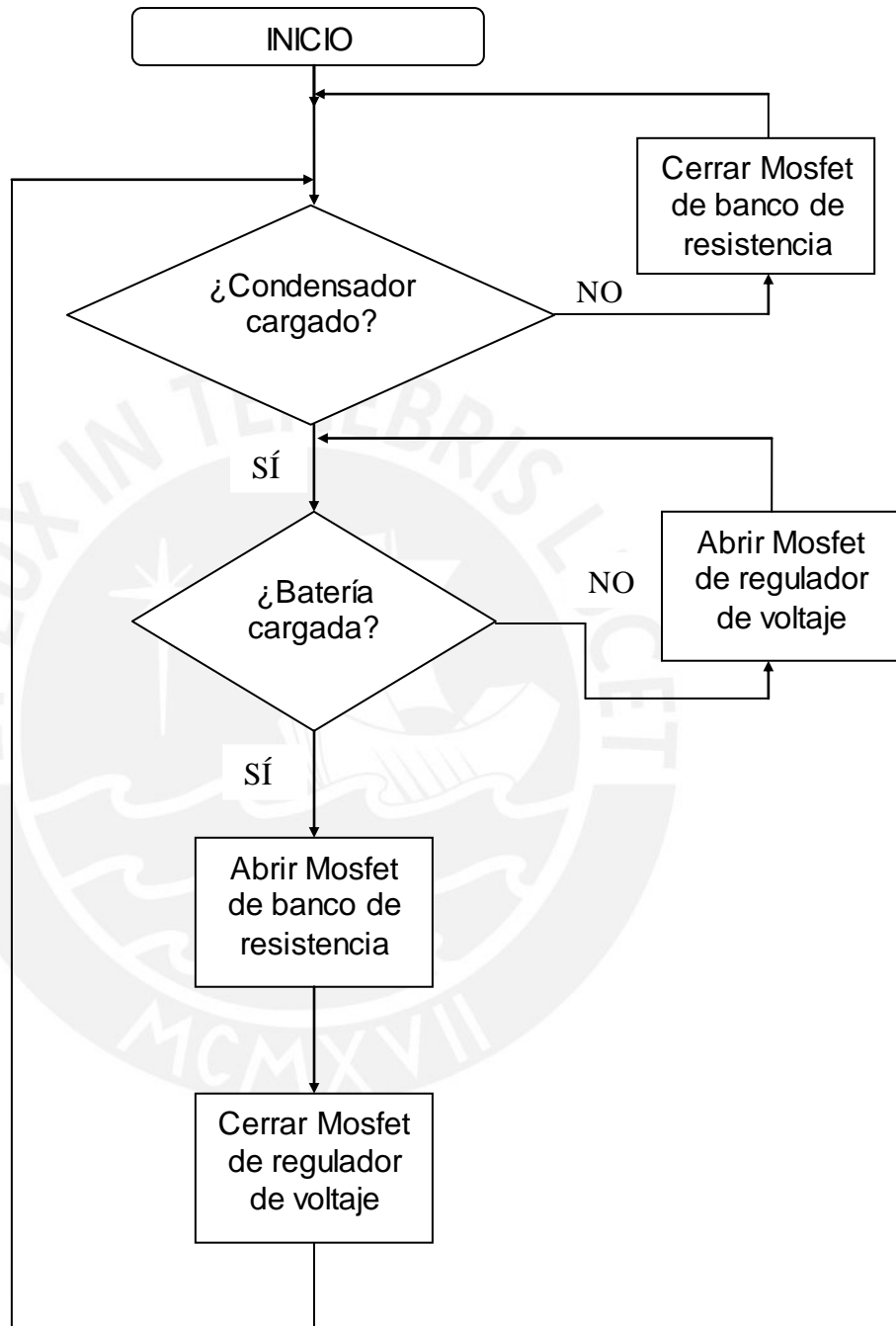


Figura 13 Diagrama de flujo del sistema de control

### 3 Experimentos y Resultados

En primer lugar, se debe mencionar que la experiencia realizada es una simulación a escala del frenado de un ascensor, por lo tanto, se generaron señales cuadradas con picos de muy poca duración y de un máximo de 31V para simular el frenado del ascensor. Se presenta en la Figura 14 un esquema que representa el flujo de energía para el experimento. Se puede observar que la energía proviene de una fuente de voltaje. Luego la energía ingresa a un circuito que hace posible generar ondas cuadradas y finalmente esta energía ingresa al sistema de almacenamiento propuesto. Los experimentos se realizaron con una fuente de 48V y una fuente regulable de 31V. Como primer paso se realizaron pruebas de funcionamiento a la tarjeta principal diseñada con una fuente regulable que brindaba como máximo 31V, esto con el objetivo de probar la tarjeta con una carga menor a la de su funcionamiento normal. Luego de probar el funcionamiento del sistema propuesto a 31V se procedía a trabajar con la fuente de 48V.

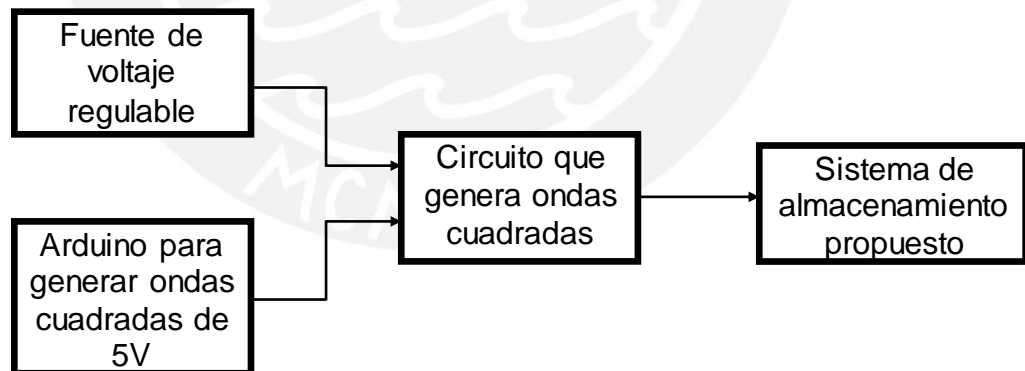
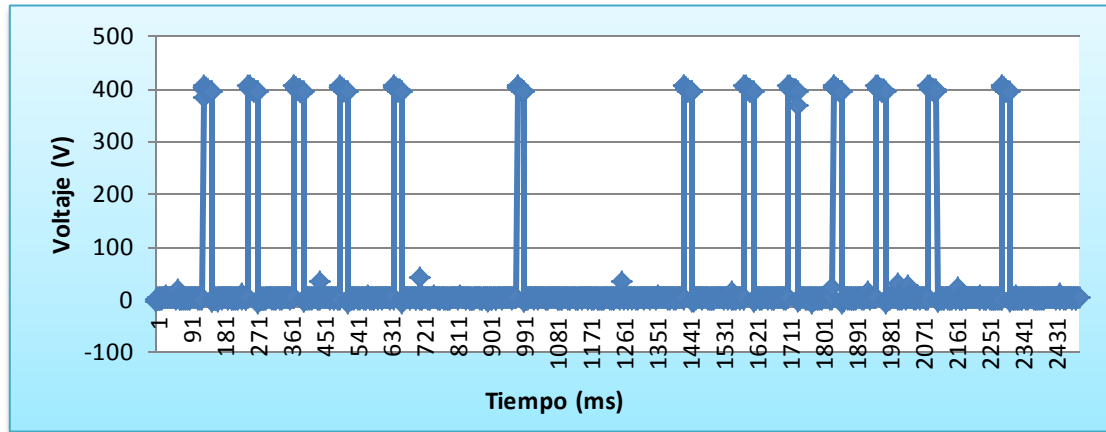


Figura 3 Flujo de energía para el experimento

Para este segmento se implementó también un circuito que nos permita transformar los 48V constantes que nos brinda nuestra fuente en una onda cuadrada. Para cumplir con este objetivo se programó un Arduino para generar una onda cuadrada que genere, a su vez, la variación del Mosfet de un estado de corte a conducción con el objetivo

de acercarse lo más posible a la apariencia las ondas cuadradas presentadas en el anexo A.



Gráfica 1 Primera adquisición de datos de un ascensor

En la Figura 15 se muestra el circuito diseñado para cumplir con este propósito. Este circuito funciona bajo el control del Programa 2 del anexo C. En la Figura 16 se muestra la señal que envía la plataforma Arduino (ráfaga de pulsos) hacia el circuito mostrado en la Figura 15.

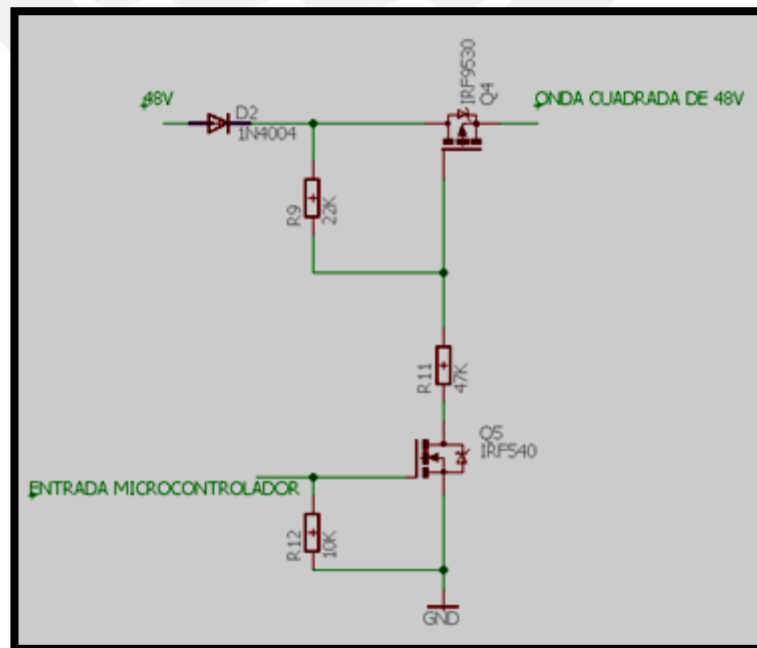


Figura 45 Circuito para generar onda cuadrada

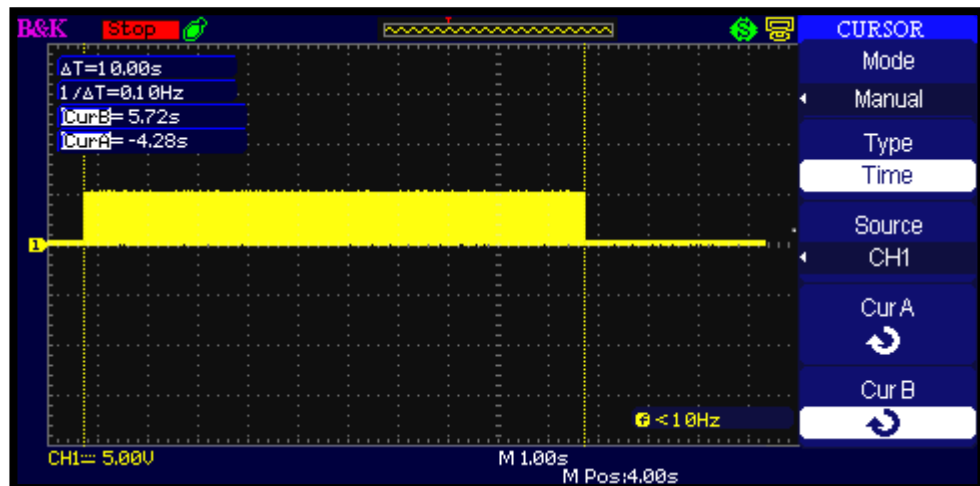


Figura 16 Ráfaga de pulsos que simula frenado de ascensor

En la Figura 16 se puede observar los gráficos detenidos del circuito encargado de generar ondas cuadradas (Figura 15). La onda amarilla representa la señal emitida por la plataforma de control Arduino las cuales van de cero a 5V. La onda celeste representa la salida del circuito con un voltaje de 31V

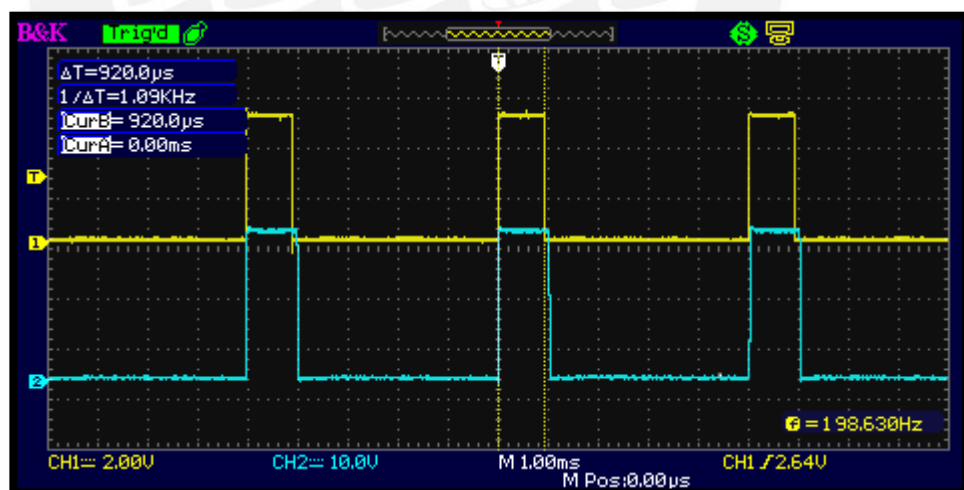


Figura 17 Gráficos detenidos del circuito para generar onda cuadrada

En la Figura 18 se presenta la carga del capacitor mediante ondas cuadradas. Las ondas amarillas representan la señal emitida por la plataforma Arduino. Como se observa las ondas cuadradas alcanzan 5V, con una duración de 900 microsegundos en alta y posee un ciclo

de 5 milisegundos. En la gráfica se observa en color celeste el capacitor cargado con un voltaje de 31V. Cabe mencionar que la plataforma Arduino no carga el condensador tal como se muestra en la Figura 14.

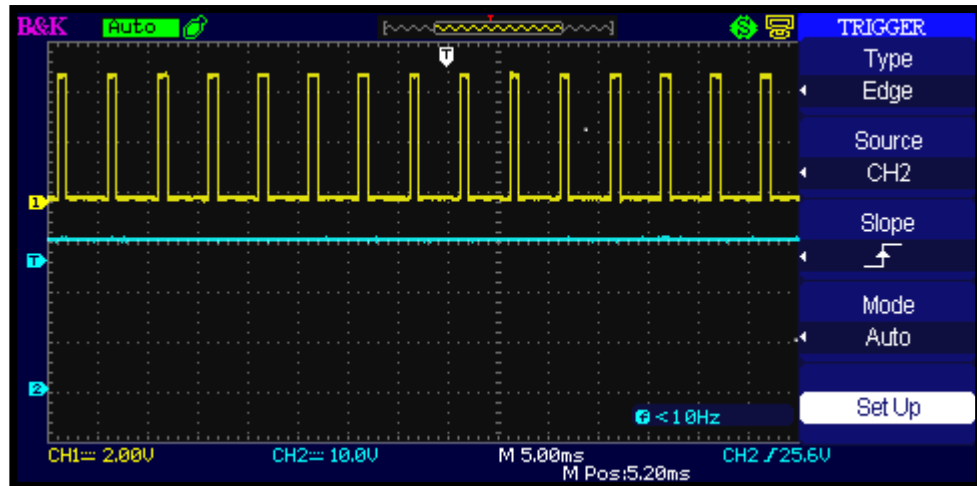


Figura 18 Gráficos detenidos de capacitor cargado (celeste) y onda cuadradas de 5V generadas por plataforma Arduino (amarillo)

En la Figura 19 se muestra la carga de los capacitores por medio de la fuente de 48V. Se puede apreciar en color amarillo las ondas generadas una vez la energía termina su recorrido por el circuito mostrado en la Figura 15, estas ondas alimentan directamente al sistema propuesto, tal como se muestra en la Figura 14. De color celeste se muestra el capacitor cargado a 48V.

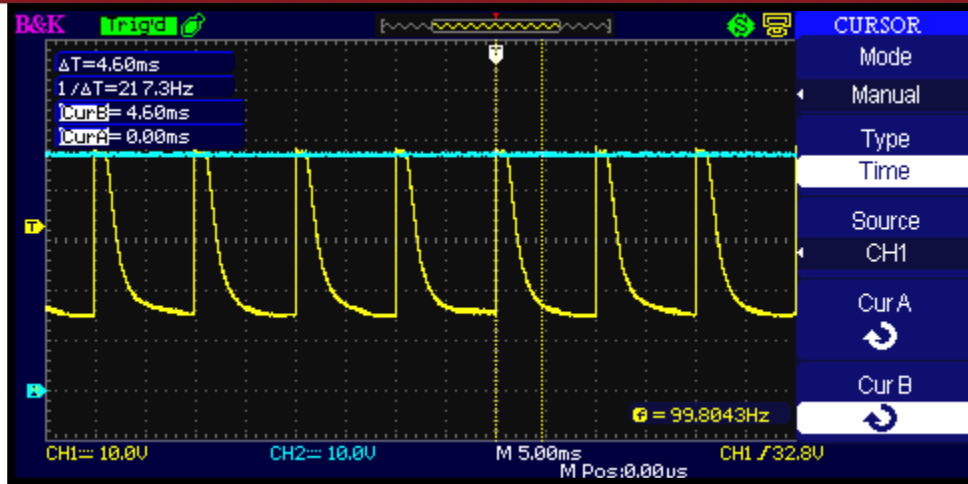


Figura 19 Gráficos detenidos de capacitor cargado (celeste) y onda de 48V (amarillo)

Con respecto a las baterías, se hizo uso del Programa 3 en el anexo C para habilitar el flujo de energía hacia éstas y se desconectó el capacitor. Para comprobar la efectividad de esta etapa de almacenamiento se midió el potencial de las baterías en serie y se comprobó que la magnitud del voltaje se elevaba y por lo tanto se cargaban las baterías. Otra manera de comprobar la carga es midiendo la corriente que ingresa a las baterías, de lo cual se obtuvieron 125mA. También se realizaron pruebas con todo el circuito en conjunto trabajando con el Programa 1 y se obtuvieron magnitudes similares a cuando se probó el funcionamiento de las etapas de almacenamiento por separado.

Tabla 9 Resultados obtenidos

RESULTADO	MAGNITUD
Corriente de carga de baterías	125 mA
Carga máxima de baterías	22.1 V
Voltaje máximo de condensador	31 V

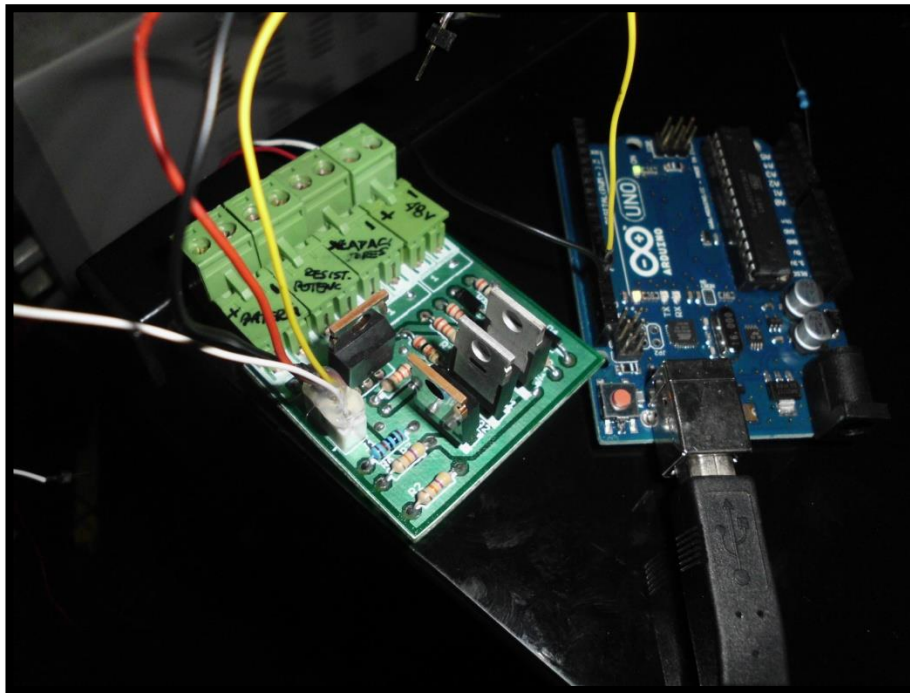


Figura 20 Fotografía de la tarjeta diseñada y la plataforma de control Arduino empleados para la experimentación



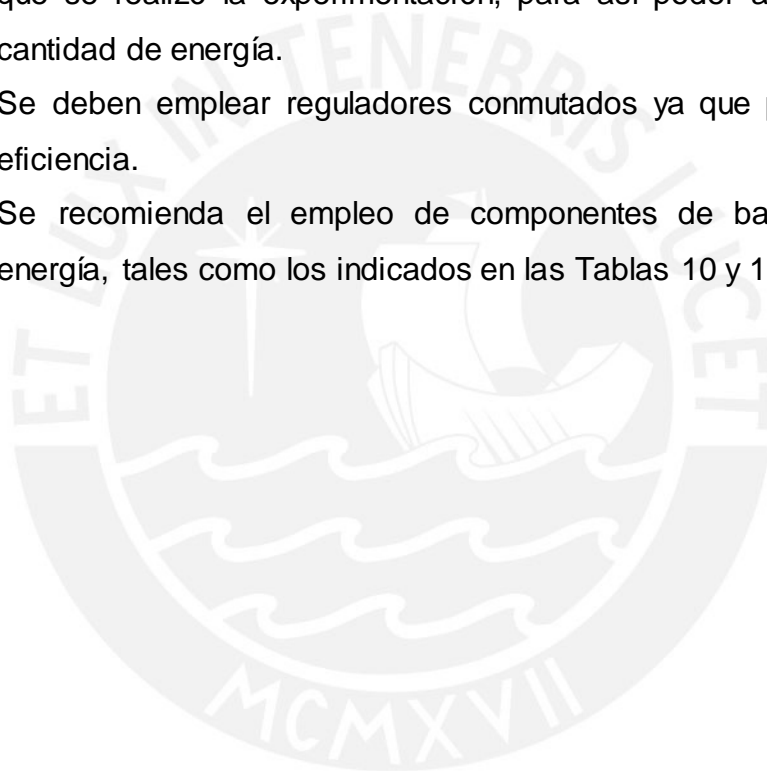
#### 4 Conclusiones

- Se ha demostrado la validez del circuito diseñado en ambas etapas de almacenamiento mediante las gráficas obtenidas. También se demuestra la capacidad de ambas etapas de almacenamiento.
- Se concluye también, que la selección de capacitores como primera etapa de almacenamiento para afrontar la naturaleza de la energía de entrada es la acertada, debido a que se expuso a los condensadores a una energía ingresante muy similar a la que se daría en una situación de trabajo en un ascensor real; tal como se muestra en la Figura 19.
- Durante la experimentación se pudo observar la fragilidad de los distintos componentes del circuito. Por lo tanto, se puede concluir que se debe mantener un alto factor de seguridad al momento de implementar el circuito a escala real debido a los picos de voltaje que se podrían producir durante su funcionamiento.
- También se concluye que la resistencia ubicada al ingreso del circuito debe ser capaz de soportar muy alta potencia ya que en el momento en que se inicia la carga del capacitor, esta absorbe demasiada corriente, provocando así una alta potencia sobre esta resistencia.
- El comportamiento de algunos componentes puede variar drásticamente si es que llegan a temperaturas críticas (incluso manteniéndose dentro del rango que se sugiere en las hojas de datos).



## 5 Recomendaciones

- Se debe emplear una resistencia de potencia de un mínimo de 5W debido a la magnitud de corriente que demanda el capacitor.
- Se deben implementar disipadores de calor (heat sink). Durante la experimentación se comprobó que los componentes del circuito llegan a altas temperaturas. En el caso del LM317hv se observó que al llegar a cierta temperatura conmutaba a un estado de corte y por lo tanto llegaba muy poca corriente a las baterías.
- Se recomienda emplear una capacitancia mayor a los 4700 uF con los que se realizó la experimentación, para así poder almacenar mayor cantidad de energía.
- Se deben emplear reguladores conmutados ya que poseen una alta eficiencia.
- Se recomienda el empleo de componentes de bajo consumo de energía, tales como los indicados en las Tablas 10 y 11.



## Referencias

- [1] GARCÍA, Juan  
2012 “Ideas innovadoras para el ahorro de energía en comunidades de propietarios”, Madrid. Consulta: 02 de abril del 2015  
<http://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/03-Eficiencia-energetica-y-generacion-de-energia-en-los-ascensores-OTIS-fenercom-2012>
- [2] VECINOLISTO  
2014 “Mantenimiento de ascensores y ahorro energético”, Madrid. Consulta: 02 de abril del 2015  
<http://blogvecinolisto.com/2014/04/28/mantenimiento-de-ascensores-y-ahorro-energetico/>
- [3] SINDERMAN, D.  
2012 “Energy efficient elevators”. Consulta: 02 de abril del 2015  
<https://www.asme.org/engineering-topics/articles/elevators/energy-efficient-elevator-technologies>
- [4] QUIMINET  
2011 “Qué es un variador de frecuencia y cómo funciona”  
Consulta: 02 de abril del 2015  
<http://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-variador-de-frecuencia-y-como-es-que-funciona-60877.htm>
- [5] DÍAZ, Adolfo  
2005 “Variadores de frecuencia en ascensores y escalas mecánicas”, Chile. Consulta: 02 de abril del 2015  
<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=275>
- [6] EPIC POWER  
2014 “Manual de instalación ERS P3K”. Consulta: 03 de abril del 2015  
[epicpower.es/wp-content/uploads/2013/.../Man\\_ERS\\_P3K\\_V15\\_sp.pdf](http://www.epicpower.es/wp-content/uploads/2013/.../Man_ERS_P3K_V15_sp.pdf)
- [7] KANG, Jun  
2013 “Regenerative power units save energy”, Estados Unidos. Consulta: 02 de abril del 2015  
<https://www.yaskawa.com/pycprd/articles/detail?a=88161>
- [8] MONOLITIC  
“Tecnología LED, Soluciones para ascensores”, España. Consulta: 02 de abril del 2015  
[http://www.monolitic.com/images/noticias/39\\_Ascensores-rev\\_00\\_12.pdf](http://www.monolitic.com/images/noticias/39_Ascensores-rev_00_12.pdf)

- [9] SCHNEIDER ELECTRIC  
“Eficiencia energética, Manual de soluciones”, Argentina.  
Consulta: 02 de abril del 2015 [http://www.schneider-electric.com.ar/documents/solutions/catalogo\\_soluciones.pdf](http://www.schneider-electric.com.ar/documents/solutions/catalogo_soluciones.pdf)
- [10] BAUTISTA, Arnoldo  
2013 “Cosecha de energía”, Estados Unidos. Consulta: 02 de abril del 2015  
<http://ex-sheffield.org/soloparaingenierosnet/2014/02/15/cosecha-de-energia/>
- [11] “Energy harvesting electronic solutions for wireless sensor network and control systems”  
Consulta: 02 de abril del 2015  
<http://www.energyharvesting.net/>
- [12] WIKIPEDIA  
2014 “Regenerative braking”. Consulta: 03 de abril del 2015  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Regenerative\\_brake](http://en.wikipedia.org/wiki/Regenerative_brake)
- [13] THYSSENKRUPP  
2014 “Recuperación de energía”. Consulta: 03 de abril del 2015  
[http://www.thyssenkruppelevadores.es/pdf/es/catalogos/Variador\\_Regenerativo.pdf](http://www.thyssenkruppelevadores.es/pdf/es/catalogos/Variador_Regenerativo.pdf)
- [14] MITSUBISHI ELECTRIC  
2014 “Variador con función de freno regenerativo que ahorra energía y costes de instalación”. Consulta: 03 de abril del 2015  
<http://www.tecnicaindustrial.es/tifrontal/a-3128-Variador-funcion-freno-regenerativo-ahorra-energia-costes-instalacion.aspx>
- [15] YASKAWA  
2014 “RC5 Regenerative Unit ”. Consulta: 03 de abril del 2015  
<https://www.yaskawa.com/pycprd/products/elevator-drives/regenerative-converters/rc5-regenerative-unit>
- [16] OTIS ELEVADORES  
2015 “Drive regenerativa”. Consulta: 03 de abril del 2015  
<http://www.projectista.pt/otis/produto/ecologia-e-meio-ambiente-cintas-gen2/>