

Almacenamiento de energía eléctrica mediante el uso de energía potencial gravitacional

Mario Hernán De La Cruz Velásquez

Ricardo Ordoñez Zúñiga

Universidad CESMAG

Facultad De Ingeniería

Programa De Ingeniería Electrónica

Pasto – Nariño

2022

Almacenamiento de energía eléctrica mediante el uso de energía potencial gravitacional

Mario Hernán De La Cruz Velásquez

Ricardo Ordoñez Zúñiga

Informe final presentado a el comité curricular del programa de ingeniería electrónica

PhD. Edgar Alberto Unigarro Calpa

Asesor

Universidad CESMAG

Facultad de ingeniería

Programa De Ingeniería Electrónica

Pasto – Nariño

2022

Nota de Aceptación

Aprobado por el comité de Investigación y
Proyección social en Cumplimiento de los
Requisitos exigidos por la Universidad CESMAG
para optar al título de Ingeniero Electrónico.

Edgar Alberto Unigarro Calpa

Asesor

Jurado

Jurado

Nota de Exclusión de Responsabilidad Intelectual

“El pensamiento que se expresa en esta obra es exclusivamente responsabilidad de sus autores y no compromete la ideología de la Universidad CESMAG”

Dedicatoria

El presente proyecto de grado va dedicado a toda mi familia, en especial a mis padres Elver Ordoñez y Elsi Zúñiga quienes, con su amor, paciencia, dedicación y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir una de las tantas metas y sueños que me he dispuesto a cumplir a lo largo de mi vida, gracias por siempre estar a mi lado e inculcar una educación ética y moral para ser una mejor persona. A mis hermanos Alejandro Ordoñez y Natalia Ordoñez quienes, siempre han estado presentes en momentos de alegría y tristeza, brindando su amor y palabras de aliento para no desfallecer en el intento y seguir siempre adelante. A mis abuelos quienes, con sus amor, educación y consejos fueron un pilar fundamental en mi niñez, aunque hoy ya no se encuentran conmigo siempre vivirán mi corazón. A nuestro asesor Edgar Unigarro, por su conocimiento, dedicación y compromiso en el proceso de cumplir con el objetivo de nuestro trabajo de investigación. Y también a todos mis compañeros de la universidad, con quienes hemos luchado para culminar nuestra meta y en el transcurso de la carrera fue incondicional su apoyo para obtener el título de ingeniero electrónico. Gracias a todos y todas por aportar de alguna u otra forma en este proyecto, de corazón mil gracias.

Ricardo Ordoñez Zúñiga.

Dedicatoria

El presente proyecto de grado va dedicado en especial a mi madre Elisenia De La Cruz y a mi tía Elvia María Chinchajoa. quienes, con sus consejos, su amor y su apoyo incondicional han hecho de mí una persona perseverante, llena de buenos valores y con ganas de ser mejor cada día. Nunca alcanzaran las palabras ni los hechos para agradecerles a ellas toda su paciencia, dedicación y sacrificio. A mi tío Rafael Juvencio De La Cruz de quien aprendí que el esfuerzo y la disciplina siempre dejan buenos frutos y quien con sus pequeñas frases como “no todos los tiempos son malos” me hacía comprender que, en la vida, aunque existen momentos de dificultad siempre llegan momentos de alegría, como el de hoy, cuando después de tanto esfuerzo culminamos nuestro proyecto de grado. A mi hermana y a mi cuñado por estar presentes en todo momento, a mi sobrina quien ve en mí un ejemplo a seguir y a la cual jamás defraudare. A nuestro asesor Edgar Unigarro, quien con sus ideas sencillas pero llenas de conocimiento nos ayudó a solucionar problemas que parecían insolubles para nosotros y por último como no dedicarle mi proyecto de grado a mi novia Dary Guerrero quien me ha acompañado ya por 6 años en este sueño por ser ingeniero. Gracias por todo y a todos, de corazón mil gracias.

Mario De La Cruz Velásquez

Contenido

Lista de tablas	10
Lista de figuras	11
Introducción.....	14
1. El problema de investigación	15
1.1 Objeto o tema de investigación	15
1.2 Línea de investigación.....	15
1.3 Sublínea de investigación.....	15
1.4 Planteamiento o descripción del problema.....	15
1.5 Formulación del problema	16
1.6 Objetivos	16
1.6.1 Objetivo general.	16
1.6.2 Objetivos específicos.....	16
1.7 Justificación.....	17
1.8 Delimitación	18
2. Marco teórico.....	19
2.1 Antecedentes	19
2.2 Enunciados De Supuestos Teóricos	22
2.2.1 Energía Potencial Gravitacional con peso suspendido.....	22
2.2.2 Generador eléctrico.....	22
2.2.3 Motor eléctrico.	23
2.2.4 Capacidad de potencia.	23
2.2.5 Capacidad y densidad de almacenamiento de energía.....	24
2.2.6 Eficiencia de carga y descarga.....	24
2.2.7 Tiempo de carga.	25
2.2.8 Mecanismo de transmisión.....	25

2.2.9	Sistema De Poleas.	26
2.2.10	Sistema de acondicionamiento de energía.	28
2.2.11	Supercondensadores.	33
2.2.12	SolidWorks.	35
2.3	Definición de variables.	36
2.3.1	Definición nominal de variables.	36
2.3.2	Definición operativa de variables.	37
2.4	Hipótesis.	37
2.4.1	Hipótesis de investigación.	37
2.4.2	Hipótesis nula.	37
2.4.3	Hipótesis alternativa.	38
3.	Metodología.	39
3.1	Enfoque.	39
3.2	Paradigma.	39
3.3	Método.	39
3.4	Tipos de investigación.	40
3.4.1	Investigación correlacional.	40
3.5	Diseño de investigación.	40
3.5.1	Tipología sobre los diseños experimentales.	40
3.6	Universo.	41
3.7	Muestra.	41
3.8	Técnicas de recolección de la información.	41
3.8.1	Instrumentos de recolección de información.	41
3.8.2	Archivo plano.	41
3.9	Equipos de recolección de información.	42

3.9.1 Instrumentos.....	42
4. Resultados.....	44
4.1 Modelamiento del sistema.....	44
4.1.1 Relación entre energía potencial gravitacional con energía eléctrica.....	44
4.1.2 Capacidad del sistema de almacenamiento de energía.....	47
4.1.3 Selección del motor generador eléctrico.....	49
4.1.4 Determinar el acople mecánico entre el peso y el motor generador.....	52
4.1.5 Almacenamiento de energía por gravedad a distintas escalas.....	55
4.2 Diseño del sistema de acondicionamiento y suministro de la energía.....	56
4.2.1 Control de carga y descarga de batería.....	57
4.2.2 Adquisición de datos para análisis de eficiencia.....	61
4.2.3 Reguladores de voltaje.....	62
4.3 Validación del sistema con prototipo de carga a dispositivos portables.....	64
4.3.1 Costos para la construcción del prototipo.....	64
4.3.2 Implementación del prototipo para la validación de los sistemas.....	64
4.4 Pruebas del prototipo.....	65
4.4.1 Pruebas para una distancia útil de 1 metro.....	65
4.4.2 Pruebas para una distancia útil de 8 metros.....	70
4.4.3 Validación de eficiencia con motor generador de imanes permanentes.....	73
5. Análisis de resultados.....	77
Conclusiones.....	79
Trabajos Futuros.....	81
Referencias.....	83
Anexos.....	86

Lista de tablas

Tabla 1. Características generales del motor generador	49
Tabla 2. Rendimiento a máxima eficiencia.	49
Tabla 3. Caracterización de motor.....	50
Tabla 4. Valor de eficiencia del motor - generador.....	51
Tabla 5. Parámetros del sistema de almacenamiento de energía.....	54
Tabla 6. Características modificadas del motor generador.	55
Tabla 7. Consumo de energía eléctrica en casa por día.....	55
Tabla 8. Parámetros necesarios a diferentes escalas.	56
Tabla 9. Distribución de pines análogos para adquisición de datos.	62
Tabla 10. Parámetros del sistema según eficiencia de regulador.	63
Tabla 11. Costes de implementación.....	64
Tabla 12. Datos de entrada y salida teóricos para una D' de 1 metro.	66
Tabla 13. Eficiencia de carga y descarga teórica.	66
Tabla 14. Datos de entrada y salida teóricos para una D' de 8 metros.....	71
Tabla 15. Características de motor MY1016.....	73
Tabla 16. Motor MY1006 con caja reductora.	74
Tabla 17. Motor MY1016 con caja reductora y sistema de poleas.	74
Tabla 18. Modelos del sensor de corriente ACS-712.....	96

Lista de figuras

Figura 1. Generador de corriente continua.	23
Figura 2. Transmisión por cadena.	25
Figura 3. Transmisión por cadena simple (a) y compuesta (b).	26
Figura 4. Partes de una polea.	27
Figura 5. Polea simple.	27
Figura 6. Polea móvil.	27
Figura 7. Polipastos.	28
Figura 8. Tiempo ciclos de trabajo.	29
Figura 9. Esquema de un convertidor tipo Buck.	30
Figura 10. Esquema de un convertidor tipo Boost.	32
Figura 11. Circuito serie RC para supercondensadores.	34
Figura 12. Diagrama de trabajo representativo de la prueba CCCD para HCs.	35
Figura 13. Funcionamiento de un osciloscopio digital.	42
Figura 14. Funcionamiento de Multímetro Digital.	43
Figura 15. Diagrama general del sistema.	46
Figura 16. (A) Celular LG Stylus 3, (B) cálculo de consumo de corriente.	47
Figura 17. Relación entre masa y eficiencia de generador.	48
Figura 18. Motor generador eléctrico POLOLU.	49
Figura 19. Datos técnicos del motor Pololu 1106.	50
Figura 20. Valores de eficiencia de motores eléctricos.	51
Figura 21. Sistema mecánico modelado en Solid Works.	52
Figura 22. Tambor (rodillo giratorio).	52
Figura 23. Polea simple o fija.	53
Figura 24. Acople mecánico del motor.	54
Figura 25. Diseño del sistema mecánico.	55
Figura 26. Diagrama secuencial de carga y descarga de la batería.	56
Figura 27. Circuito esquemático con XL4005.	57
Figura 28. Simulación de motor - generador en Simulink.	58
Figura 29. Conmutación de modulo relé para cambio de polaridad de voltaje.	58
Figura 30. Descarga de capacitores.	59

Figura 31. Respuesta de entrega de energía	60
Figura 32. Esquemático control de descarga de batería por gravedad.	61
Figura 33. Diseño del prototipo en solidWORKS.....	64
Figura 34. Sistema de almacenamiento de energía por gravedad.	65
Figura 35. Escenario 1 distancia útil de 1 metro, masa 52 Kg.	66
Figura 36. Prueba 1 datos de (a) carga y (b) descarga.....	67
Figura 37. Resultados de salida sin regulador de voltaje, prueba No 1.....	67
Figura 38. Prueba 2 datos de (a) carga y (b) descarga.....	68
Figura 39. Datos de salida del regulador de voltaje conmutado XL4005.	68
Figura 40. Resultados de salida con regulador conmutado XL4005, prueba No 2.	69
Figura 41. Datos de salida del regulador lineal de voltaje LM7805.	69
Figura 42. Resultados de salida con regulador lineal, prueba No 3.	70
Figura 43. Escenario 2. validación del prototipo con una D' de 8 metros.	70
Figura 44. Ciclo de carga de batería para una D' de 8 metros.	71
Figura 45. Ciclo de descarga de batería,.....	72
Figura 46. Resultados de salida ciclo de carga y descarga, prueba No 4.	72
Figura 47. Motor generador eléctrico MY1016.	73
Figura 48. Batería por gravedad con motor generador MY1016 y sistema de poleas.	74
Figura 49. Potencia de carga con motor MY1016.....	75
Figura 50. Datos de descarga de batería con motor MY1016.	75
Figura 51. Resultados de salida en un ciclo de carga y descarga de batería	76
Figura 52. Diseño de sistemas en SolidWorks.	86
Figura 53. Circuito esquemático con regulador LM7805.	87
Figura 54. Serigrafía de circuito impreso	88
Figura 55. Placa de circuito impreso con regulador LM7805.....	88
Figura 56. Placa de circuito impreso con modulo convertidor de voltaje XL4005.....	88
Figura 57. Relación de transmisión piñón de 16 y corona de 48 dientes a eje de 8mm.....	89
Figura 58. Acople rígido de 6mm (eje motor) a 8mm.....	90
Figura 59. Chumacera de piso.	91
Figura 60. Chumacera de pared.....	91
Figura 61. Acople entre eje de motor y piñón de 11 dientes.	91

Figura 62. Montaje del sistema de transmisión mecánica.....	92
Figura 63. Tambor.....	92
Figura 64. Polea en material PLA.....	93
Figura 65. Estructura del sistema de almacenamiento de energía.....	93
Figura 66. Estructura del cajón.....	94
Figura 67. Sistema de elevación masa por cable con una polea.....	95
Figura 68. Sistema de elevación masa por cable con cinco poleas.....	95
Figura 69. Voltaje de sensor para 0A.....	97
Figura 70. Voltaje de sensor para 0.26A.....	97
Figura 71. Medición de corriente con sensor ACS-712 (A3) vs multímetro.....	98
Figura 72. Medición de corriente con sensor ACS-712 (A1) vs multímetro.....	98
Figura 73. Datos del regulador LM 7805.....	99
Figura 74. Eficiencia regulador LM 7805.....	99
Figura 75. Datos de convertidor reductor de voltaje XL4005.....	100
Figura 76. Eficiencia de convertidor de voltaje XL 4005.....	100

Introducción

Los sistemas de almacenamiento de energía son un componente de los sistemas de distribución de energía cada vez más importante debido a la integración de generadores de energía alternativa renovables que son dependientes del tiempo. El problema de los sistemas alternativos radica en que cuando hay exceso de energía esta no se aprovecha en el lugar de generación, en cambio es inyectada a la red en los lugares donde la regulación lo permite o se desaprovecha. Los sistemas de almacenamiento permiten que la energía generada sea utilizada en el lugar de generación. En Europa y Estados Unidos donde se manejan tarifas diferenciales del cobro de la energía eléctrica un sistema de almacenamiento permite a los usuarios almacenar energía cuando su costo es menor desde la red eléctrica para luego ser utilizado cuando el costo es superior.

Las tecnologías existentes para el almacenamiento de energía son Ion de Litio, baterías de óxido, las baterías REDOX, los super capacitores y ultra capacitores, los cuales dependen en su mayoría de procesos químicos, esto hace que las baterías tengan una vida útil limitada por sus características químicas, de igual manera limita sus capacidades para ser recicladas y su reparación empleando herramientas de bajo costo.

Considerando la necesidad de un sistema de almacenamiento y las limitaciones de las baterías electroquímicas, se plantea en este proyecto realizar el diseño de una batería que almacene la energía de manera potencial empleando la gravedad, este sistema se modelará y luego con el proceso de diseño se construirá un prototipo para validar el sistema planteado.

1. El problema de investigación

1.1 Objeto o tema de investigación

Almacenamiento de energía eléctrica mediante el uso de energía potencial gravitacional.

1.2 Línea de investigación

“Potencia Y Energía: El área de Potencia y Energía del programa de Ingeniería Electrónica de la Institución Universitaria CESMAG enfoca su trabajo en el estudio de la generación, transformación, intercambio, transporte, distribución, almacenamiento y consumo de energía eléctrica de manera absoluta o por unidad de tiempo, incluyendo el diseño, análisis, control y optimización de sistemas de electrónica de potencia. Las líneas de investigación incluyen Calidad de la Energía y Energías Alternativas” (Programa de Ingeniería ELECTRÓNICA. 2015).

1.3 Sublínea de investigación

“Energías Alternativas: Las energías alternativas son aquellas que se obtienen mediante procesos alternativos a los tradicionales (quema de combustibles fósiles o en el caso de Colombia la hidroeléctrica a gran escala), estas se dividen en renovables o limpias, las cuales se obtienen de fuentes naturales capaces de regenerarse de manera más rápida de lo que se consumen o ser virtualmente infinitas; y en no renovables cuya fuente se consume más rápido de lo que se regenera pero que a diferencia las fuentes tradicionales el impacto ambiental es menor” (Programa de Ingeniería ELECTRÓNICA. 2015).

1.4 Planteamiento o descripción del problema

Debido al agotamiento de las reservas de los combustibles fósiles, se hace necesario el desarrollo de fuentes alternativas limpias y de la manera de poder almacenar estas energías, utilizando baterías con energías específicas elevadas y de larga vida (Jaime & Fonseca, n.d.).

Sin embargo, hasta el día de hoy no se cuenta con un dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica mediante el uso de energía potencial sustentable, esto se debe a que la mayor demanda recae sobre las baterías de iones de litio, gracias a su alto contenido de energía y

versatilidad. Pero, el litio no es un material abundante, la mayoría de yacimientos se encuentran en el triángulo del litio, en Sudamérica, y los procesos de extracción del mineral y de recuperación de otros materiales contenidos en estas baterías son poco ecológicos (Ambrojo, 2014). además, las tecnologías de almacenamiento de energía por gravedad, incluida la energía hidroeléctrica bombeada, tiene dos ventajas clave sobre las baterías electroquímicas (iones de litio) y es que su capacidad no se degrada en cada ciclo y por tratarse de un sistema mecánico las pérdidas de energía son mínimas (Morstyn et al., 2019).

En este proyecto se presenta el modelamiento de un sistema para almacenar y suministrar energía potencial mediante gravedad por medio de peso suspendido, el cual tendrá un sistema de acondicionamiento y suministro de la energía almacenada para cumplir con los requerimientos de la red eléctrica que se vaya a utilizar, de la misma manera cumpliendo con la demanda de energía que el usuario necesite.

1.5 Formulación del problema

¿Cuál es la eficiencia de un sistema de almacenamiento y suministro de energía eléctrica en rangos desde 2,4Wh hasta 10kWh? mediante el uso de energía potencial gravitacional utilizando peso suspendido.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general.

Modelamiento de un sistema para almacenar y suministrar energía eléctrica mediante gravedad en un rango de 2.4Wh a 10 kWh validado con un prototipo capaz de suministrar carga a dispositivos portables.

1.6.2 Objetivos específicos.

- Modelamiento del sistema para el almacenamiento de energía con peso suspendido.
- Diseñar el sistema de acondicionamiento y suministro de la energía almacenada.
- Validar el modelamiento de los sistemas por medio de un prototipo para la carga de dispositivos portables.

1.7 Justificación

El presente proyecto se enfoca en el almacenamiento de energía eléctrica por medio de energía potencial gravitacional obtenida con peso suspendido, con ello se pretende mitigar costos en la implementación de un sistema con energías alternativas, el cual usa de forma convencional las baterías de iones de litio. Es importante aclarar que, aunque el costo de las baterías de iones de litio ha disminuido significativamente en los últimos años, su costo nivelado de energía sigue siendo más alto que el costo nivelado de la energía hidroeléctrica bombeada y otras tecnologías de almacenamiento de energía por gravedad (Alkubaisi et al., 2017), además la vida útil de las baterías de litio se degrada con cada ciclo de carga y descarga obligando a el usuario a cambiar este tipo de almacenamiento de energía en un lapso promedio de 10 años (Morstyn et al., 2019), aumentando así el costo en la implementación de un sistema con energías renovables.

Por otra parte, la implementación de un sistema de almacenamiento de energía por gravedad que no incluya recursos naturales limitados, aporta de forma significativa al medio ambiente, puesto que se dejaría de lado el uso de los ríos, los cuales son necesarios para el almacenamiento de energía como el de las hidroeléctricas bombeadas (Ge et al., 2019). Como también, el uso o la implementación del litio como almacenador de energía, puesto que el litio no es un material abundante y la mayoría de yacimientos se encuentran en el triángulo del litio, en Sudamérica, y los procesos de extracción del mineral y de recuperación de otros materiales contenidos en estas baterías son poco ecológicos (Ambrojo, 2014).

Un punto importante es que en comparación a los almacenamientos de energía electroquímicas el almacenamiento de energía por gravedad por tratarse de un sistema mecánico las pérdidas de energía son mínimas (Morstyn et al., 2019). Aprovechando al máximo la generación de energía eléctrica sin importar de qué tipo de energía, esta provenga.

Por último, otro elemento que impulsa la implementación de este proyecto es la capacidad de descarga de la batería por gravedad, puesto que esta puede llegar a ser más alta que las electroquímicas, en ese orden de ideas para cargas rápidas de buses eléctricos o de otros vehículos se puede suministrar opciones de carga ultrarrápida por encima de los 200 kWh (Botha & Kamper, 2019).

1.8 Delimitación

Esta investigación se llevó a cabo en un tiempo determinado que comprende 3 semestres académicos, en los cuales se realiza el modelamiento de un sistema de almacenamiento de energía con peso suspendido y diseño del sistema de acondicionamiento de la energía almacenada, por último; se valida los sistemas por medio de un prototipo para dar carga a para dispositivos portables. Es decir, con una capacidad de almacenamiento que este en el rango de 2Wh hasta los 10Wh a un voltaje de salida regulado de 5v en corriente continua.

2. Marco teórico

2.1 Antecedentes

(Escobar Mejia & Holguín Londoño, 2011) En su investigación “sistemas de almacenamiento de energía y su aplicación en energías renovables” realiza investigaciones en sistemas de almacenamiento de energía y su aplicación en energías renovables en la cual se enfocan en la integración de sistemas de almacenamiento de energía (*Energy Storage Systems*), Dichas tecnologías incluyen; baterías, ultra capacitores, SMES (*superconducting magnetic energy storage*), aire comprimido entre muchas otras. La investigación concluye que elementos como los ultra capacitores pueden ser utilizados con las baterías para mejorar la capacidad de respuesta de las plantas solares y eólicas. El primero proporciona alta respuesta durante la descarga mientras las baterías ayudan a mantener el intercambio de potencia durante más tiempo. Los ultra capacitores permiten elevar la vida útil de las baterías ya que limita los ciclos de operación de las mismas, además los ESS (*Energy Storage Systems*) no solamente son útiles para compensar la potencia en plantas eólicas y solares, también son usados a nivel de distribución para mejorar la calidad de la energía, mejorar el consumo, aumentar la robustez en redes débiles y retardar la construcción de redes de transmisión.

(Escobar Mejia & Holguín Londoño, 2011) en su tesis, “Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica aplicadas en generación con fuentes renovables” tuvo como objetivo seleccionar y analizar sistemáticamente los últimos artículos científicos respecto a las tecnologías de almacenamiento de energía con baterías. Dada la baja disponibilidad de litio en la corteza terrestre, la alternativa del sodio en forma de baterías de ion de sodio cobra un alto interés; sin embargo, todavía hay mucho recorrido investigativo por allanar, como encontrar los materiales adecuados de ánodo y cátodo y optimización del electrolito. Se observa un crecimiento en la aceptación e implementación de tecnologías de *Redox flow*, las capacidades que se están instalando son cada vez más grandes, esto es una señal de que este tipo de tecnologías, por las fortalezas que tiene, puede ser un habilitador clave de la integración de los RES (*Renewable Energy System*) a la red.

Unos investigadores del Laboratorio Ångström de la universidad sueca de Uppsala trabajan en un nuevo concepto de batería recargable (Ambrojo, 2014) en el presente antecedente se afirma que; las baterías de iones de litio utilizan materiales que no son muy abundantes. La mayoría de yacimientos se encuentran en el triángulo del litio, en Sudamérica, y los procesos de extracción

del mineral y de recuperación de otros materiales contenidos en estas baterías son poco ecológicos. Es por ello que el autor expresa la gran necesidad de trabajar en un nuevo concepto de batería recargable basado en elementos amigables con el medio ambiente y propone un nuevo concepto de batería recargable basado en materiales orgánicos como la resina de pino y la alfalfa.

Por otra parte, debido al agotamiento de las reservas de los combustibles fósiles, se hace necesario el desarrollo de fuentes alternativas limpias y de la manera de poder almacenar estas energías, utilizando baterías con energías específicas elevadas y de larga vida (Jaime & Fonseca, 2014), en la presente investigación el autor expresa que; El petróleo se agota. Las previsiones son por mucho para 20 años más. Las reservas de gas natural no son suficientes y si no se realizan nuevas exploraciones, nuestro futuro energético es incierto. Para ello es importante desarrollar estrategias para la implementación y aprovechamiento de energías renovables limpias (eólica, fotovoltaica) que no contaminen el medio ambiente y eviten el cambio climático, que está produciendo catástrofes en el planeta, tomando en cuenta el impacto periférico socioeconómico sobre las comunidades y su salud.

(Guacaneme et al 2014) Este artículo tiene como objetivo presentar una revisión de las principales tecnologías para el almacenamiento de energía y su utilización en micro redes eléctricas. La utilización de fuentes de energía renovable en sistemas de distribución de energía eléctrica aumenta los requerimientos de instrumentación, gestión y control, debido al grado de intermitencia y variabilidad de dichas fuentes. Una de las tecnologías presentadas por el artículo son los supercondensadores en la Microred. los cuales mejoran la calidad de potencia y su gran respuesta por cortos periodos de tiempo lo hace especial para trabajar en conjunto con baterías o sistemas de almacenamiento con capacidad de energía. De la implementación de sistemas de almacenaje de energía en una Microred se obtienen ventajas como la mejora de los transitorios, mejora de la capacidad, aumento de potencia instantánea, al mismo tiempo que permite la introducción de sistemas renovables de energía.

(Ge et al., 2019) En la presente referencia el autor evalúa la pérdida de energía potencial gravitacional que presenta una excavadora lo que provoca una baja eficiencia energética y altas emisiones. El objetivo de su investigación es Tomar una excavadora a gran escala durante un determinado proceso de excavación de 90° y determinar el desperdicio de energía potencial gravitacional que la maquina presenta. de ahí se concluye que; El desperdicio del dispositivo de trabajo es de aproximadamente 975,1 kJ, lo que representa al menos el 20% del consumo de energía de

toda la máquina, lo que causa un importante desperdicio de energía y una contaminación grave. Y durante el proceso de reducción, la tasa de cambio de energía potencial es de aproximadamente 406.4 kW. Este artículo propone una recuperación de energía potencial gravitacional con un cilindro de conversión de energía y un acumulador hidráulico. Usando este esquema, La energía potencial gravitacional del dispositivo de trabajo se puede almacenar y reutilizar directamente, sin aumentar el costo y la instalación poder de la máquina en gran medida. Se obtiene como resultado una reducción de aproximadamente 238 kJ durante un determinado ciclo de excavación de 90 °, y se estima que el sistema puede reducir el dióxido de carbono (emisiones) por 28088.4 kg por año. Los efectos de ahorro de energía y reducción de emisiones son notables; Además, este principio puede aplicarse directamente a otras máquinas de elevación.

(Botha & Kamper, 2019) Este artículo describe un método de almacenamiento de energía potencial gravitacional. Se realiza una revisión de los métodos de almacenamiento actuales que hacen uso del principio de la energía potencial gravitacional, con una comparación dada en términos de potencia, calificación energética y eficiencia de carga y descarga que proporciona ecuaciones para la capacidad de almacenamiento, la energía y la densidad de potencia. Además, se discute el rendimiento del GES (*gravity energy storage*), sin tener en cuenta el método de elevación. Esta sección proporciona valores concretos para la capacidad de almacenamiento, la energía y las densidades de potencia que se pueden usar fácilmente para comparar con otras tecnologías de almacenamiento. También proporciona un vistazo al tiempo óptimo de descarga.

La recolección de energía por gravedad de los objetos que caen es una promesa de recolectar energía potencial no utilizada, por ejemplo; de un edificio o estructura en las alturas. Del mismo modo, se ha demostrado que un mecanismo de caída dinámico es un generador de energía eléctrica simple y eficaz, con muchas implementaciones prácticas en ingeniería electrónica, civil y mecánica (Alkubaisi et al., 2017). Esta investigación analiza la posibilidad de utilizar un mecanismo que tiende a estar cerca de la estructura del elevador, pero sin el contrapeso para toda la recolección de energía posible. Para lograr este objetivo, una estructura de caída se complementa con un nuevo sistema de carga de almacenamiento de energía para la recolección de energía cinética y de frenado principal. La estrategia del mecanismo de caída dinámico se centra tanto en la energía gravitacional como en la generación de frenos, ya que utiliza un generador de CC de imán permanente con engranaje de alta relación y la estructura de un elevador. Se realizan investigaciones teóricas y análisis numéricos que muestran el punto de operación máximo que optimiza el rendimiento del

sistema. La topología estructural del sistema propuesto también tiene un impacto obvio en la potencia de salida.

(Morstyn et al., 2019) Este documento investiga el potencial de uso del almacenamiento de energía de gravedad con pesos suspendidos y una nueva tecnología para la reconstrucción de pozos de minas profundas abandonadas. La tecnología tiene una densidad de energía relativamente baja, pero tiene ventajas que incluyen una capacidad de potencia desacoplada de su capacidad de energía, sin límite de ciclo y el potencial de combinarse con el almacenamiento de energía de aire comprimido. se muestra que la capacidad de potencia del motor y la electrónica de potencia del sistema determinan la tasa de rampa máxima y, por lo tanto, el rango de servicios del sistema de potencia que se pueden proporcionar. Utilizando datos del Catálogo de Minas Abandonadas de la Autoridad de Carbón del Gobierno del Reino Unido, se ha estimado que hay 340 pozos de minas que podrían convertirse en unidades de almacenamiento por gravedad con capacidades de energía superiores a 1 MWh, proporcionando 0,804 GWh de almacenamiento de energía.

2.2 Enunciados De Supuestos Teóricos

2.2.1 Energía Potencial Gravitacional con peso suspendido. (Albarrán-Zavala, 2008) la definen como la capacidad que tienen los cuerpos para realizar un trabajo, dependiendo de la configuración que tengan en un sistema de cuerpos que ejercen fuerzas entre sí. Puede pensarse como la energía almacenada en un sistema, o como una medida del trabajo que un sistema puede entregar. Una definición más sencilla es que la energía potencial es una magnitud escalar asociada a un campo de fuerzas (Morstyn et al., 2019). Para este proyecto, el cuerpo suspendido el cual ejerce una fuerza hacia abajo gracias a la gravedad es tomado como energía potencial y depende directamente de la altura la cual está asociada a un campo de fuerzas, este campo de fuerzas determina una diferencia de valores entre dos puntos A y B, que es igual al trabajo realizado por la fuerza para trasladar la masa entre los puntos B y A. Se analiza el tamaño y forma de la masa suspendida para maximizar la capacidad de almacenamiento de energía que el sistema opere, la capacidad de potencia requerida del motor y la electrónica de potencia para lograr una velocidad de rampa deseada.

2.2.2 Generador eléctrico. Una de las partes principales del presente proyecto es el Motor y el Generador los cuales como toda máquina eléctrica pueden ser reversibles. Es decir, las características constructivas del motor de CC es la misma del generador de CC, por tanto, el generador de

CC puede trabajar como motor de CC o viceversa (Antonio & Martínez, n.d.). En el caso del motor de CC, es necesario alimentar con energía eléctrica de CC y en su eje se tiene energía mecánica la cual se almacenará de forma de energía potencial gravitacional.

El generador transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Tiene un movimiento de rotación. El generador de corriente continua transforma la energía mecánica en energía de eléctrica de CC. El generador de corriente continua, denominada históricamente como el dínamo. es definido por (Antonio & Martínez, n.d.), como una máquina rotativa que se compone de dos partes: Un estator donde se tiene el inductor que son los polos magnéticos con sus devanados de campo; un rotor que es un cuerpo cilíndrico giratorio, donde se tiene los conductores del devanado del inducido, denominado también como armadura. El estator y el rotor está separado por el entrehierro que es un espacio donde están presentes los campos electromagnéticos. En la Figura 1, se muestra las partes de un generador de corriente continua.

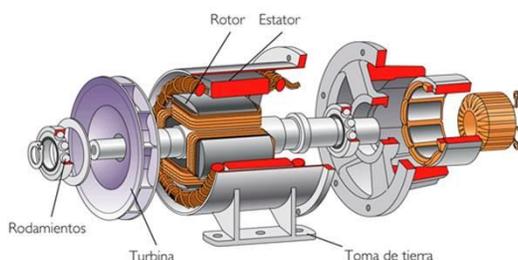


Figura 1. Generador de corriente continua.

Fuente (Antonio & Martínez, n.d.).

2.2.3 Motor eléctrico. El motor eléctrico transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Tiene un movimiento de rotación. El motor de CC convierte la potencia eléctrica de CC en potencia mecánica. Esta operación está basada sobre el principio que cuando circula una corriente por un conductor dentro de un campo magnético, el conductor experimenta una fuerza. La dirección de esta fuerza este dado por la regla de la mano derecha de Fleming.

2.2.4 Capacidad de potencia. Esta es la potencia nominal del dispositivo, indicada en vatios, kilovatios o megavatios. Por tanto, es la velocidad a la que el dispositivo puede suministrar energía en condiciones normales de funcionamiento. Esta es la tasa de descarga máxima nominal en condiciones normales (Eyer & Corey, 2011). Algunos tipos de almacenamiento de energía son capaces de entregar energía por encima de su potencia nominal durante períodos breves; esto se conoce como capacidad de energía de emergencia (Eyer & Corey, 2011).

2.2.5 Capacidad y densidad de almacenamiento de energía. Esta es la cantidad de energía que el dispositivo es capaz de almacenar (Castillo & Gayme, 2014). Por lo tanto, se mide en kilovatios-hora, megavatios-hora o gigavatios-hora. Normalmente, la capacidad de almacenamiento de energía cotizada de un dispositivo es la cantidad total de energía almacenada en el dispositivo y no la cantidad total de energía recuperable (Castillo & Gayme, 2014). Por lo tanto, este valor puede ser algo engañoso, particularmente si la eficiencia de salida del dispositivo es baja. Junto con la capacidad de potencia, la capacidad de almacenamiento de energía es una propiedad fundamental que determina para qué aplicaciones se puede utilizar un dispositivo.

Un término común utilizado cuando se habla de almacenamiento de energía es la densidad de energía de un dispositivo. Esta es la capacidad de almacenamiento de energía por unidad de volumen del dispositivo (Castillo & Gayme, 2014). La densidad de almacenamiento de energía de una tecnología tiene una influencia significativa en la practicidad de la tecnología. Las tecnologías que ocupan un gran volumen pueden ser difíciles de implementar en lugares donde el espacio es limitado.

2.2.6 Eficiencia de carga y descarga. Esta es la relación entre la energía descargada por el dispositivo y la energía requerida para cargar el dispositivo, por ciclo (Castillo & Gayme, 2014). Aunque generalmente se da un valor característico único para los dispositivos de almacenamiento de energía, la eficiencia no es necesariamente constante. Puede depender de la potencia de salida o del nivel de carga del sistema (Ibrahim, et al., 2008). Por lo tanto, la verdadera eficiencia de un dispositivo operativo puede ser compleja de determinar.

Un factor que afecta la eficiencia de carga y descarga de un dispositivo es la tasa de auto descarga. Ésta es la velocidad a la que un dispositivo de almacenamiento puede perder carga mientras no está en uso (Eyer & Corey, 2011). Un dispositivo susceptible de auto descarga perderá la energía almacenada mientras está inactivo. Esto significa que la energía que es capaz de producir se reducirá con el tiempo. Por lo tanto, la eficiencia de carga y descarga de dicho dispositivo depende del tiempo del ciclo. Como resultado, los dispositivos con altas tasas de auto descargan no suelen ser adecuados para aplicaciones con largos períodos entre carga y descarga. La eficiencia de carga y descarga de un dispositivo juega un papel importante en la determinación de su probable viabilidad económica. Para el modelo operativo en el que la energía se compra y almacena cuando el costo es bajo, y se libera cuando el precio es alto, la baja eficiencia energética aumenta

efectivamente el costo operativo del dispositivo en relación con los ingresos (Díaz-González, et al., 2012).

2.2.7 Tiempo de carga. Este es el tiempo necesario para que el dispositivo de almacenamiento se cargue por completo desde un estado sin carga (Castillo & Gayme, 2014). Es ventajoso que un dispositivo de almacenamiento de energía pueda cargarse rápidamente, ya que esto significa que puede estar disponible para ser desplegado con más frecuencia.

2.2.8 Mecanismo de transmisión. Las transmisiones mecánicas realizan el proceso de conversión de energía generalmente con transformaciones de los momentos, fuerzas, velocidades, a veces, con la variación del carácter y de la ley del movimiento (Patiño Duque et al., 2017). Los mecanismos de transmisión por cadena comunican movimientos de giro entre dos ejes que se encuentran alejados entre sí, el sistema consta de dos ruedas dentadas (sprockets) y una serie de eslabones rígidos (elementos metálicos iguales unidos entre sí) relativos entre ellos los cuales constituyen una cadena, este sistema transmite el movimiento entre los ejes mediante el empuje que genera los eslabones de la cadena y los dientes de las ruedas.



Figura 2. Transmisión por cadena.
Fuente (Patiño Duque et al., 2017)

Este tipo de transmisiones pueden ser simples o compuestas, simples es la combinación de 2 o más piñones calculados para transmitir fuerza y movimiento a una determinada relación de velocidad entre el piñón conductor y el piñón conducido (Nieto Canos, Rafael López, 1985) y las compuestas es la combinación de varios piñones dispuestos en tal forma, que se puede obtener una alta relación de velocidad entre el piñón conductor y el piñón conducido (Nieto Canos, Rafael López, 1985).

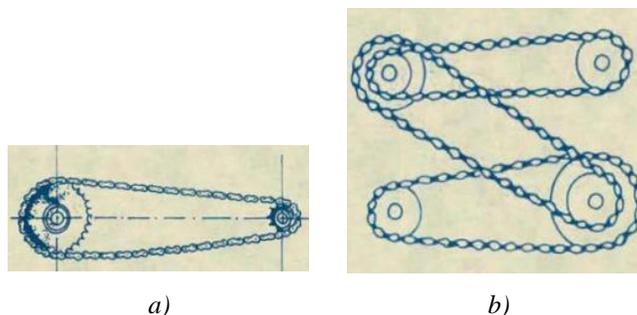


Figura 3. Transmisión por cadena simple (a) y compuesta (b).

Fuente (Nieto Canos, Rafael López, 1985)

La relación de transmisión entre las velocidades de rotación de los engranajes conectados entre sí, se debe a la referencia de diámetros de las ruedas dentadas que implican una referencia entre las velocidades de rotación de ambos ejes, Esta relación podrá emplearse de diferentes formas, en función de los datos que se conozcan de la transmisión que se esté analizando en cada momento (Concellón, 2020), esta relación se puede hallar con la siguiente ecuación (1).

$$i = \frac{N2}{N1} = \frac{D1}{D2} = \frac{Z1}{Z2} \quad (1)$$

La ecuación (1) al ser una igualdad se puede hacer una relación de transmisión con cualquiera de las tres divisiones presentes, donde N es la velocidad angular, D es el diámetro de las ruedas dentadas y Z es el número de dientes de la rueda. Se diferencia con el los números 1 que hace referencia al elemento de entrada y el numero 2 al elemento de salida. La lectura para este tipo de relaciones es de la siguiente manera, N2:N1 se interpreta que por cada N1 vueltas de entrada se tiene a la salida N2 vueltas, de la igual manera para los diámetros o número de dientes.

2.2.9 Sistema De Poleas. Una polea, es un mecanismo simple que sirve para transmitir una fuerza. Se trata de una rueda, generalmente maciza y acanalada en su borde, que, con el curso de una cuerda o cable que se hace pasar por el canal, se usa como elemento de transmisión para cambiar la dirección del movimiento en máquinas y mecanismos. Además, formando conjuntos aparejos o polipastos sirve para reducir la magnitud de la fuerza necesaria para mover un peso (Benites & Loyola, 2014). En la Figura 4 se muestra las partes que conforman una polea éstas son:

- Un cuerpo en forma de disco
- Un cubo que es la parte central del disco, contiene un agujero en el cual se coloca un eje donde va fija la polea
- Garganta o canal es la ranura o canaleta donde va alojada la banda o cuerda



Figura 4. Partes de una polea.
Fuente (Benites & Loyola, 2014)

Existen diferentes tipos de clasificación de poleas por su forma de uso ya sea individual o el conjunto, dependiente de esta se clasifican en simples, móviles y polipastos.

Poleas simples: Ésta consiste en una rueda que puede girar alrededor de un eje fijo, que pasa por un centro, debido a que por ella pasa una cuerda, de la que en uno de sus extremos se cuelga el objeto, el que se puede subir tirando (jalando) la cuerda desde el otro extremo (Cristi, 2003). Una polea fija no produce una ventaja mecánica Figura 5.

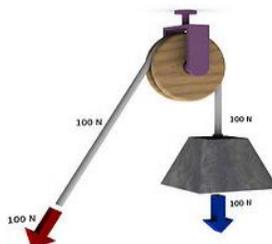


Figura 5. Polea simple.
Fuente (Cristi, 2003)

Poleas móviles: A diferencia de la polea fija la polea móvil se apoya sobre la cuerda y debido a eso multiplica la fuerza ejercida. También tiene un movimiento de rotación (sobre su eje) y otro de traslación hacia arriba o abajo dependiendo el momento donde se encuentre la carga, esto es debido a que está en la cuerda (Cristi, 2003). La polea móvil produce una ventaja mecánica Figura 6.



Figura 6. Polea móvil.
Fuente (Cristi, 2003)

Polipastos: Son la combinación de poleas fijas y móviles recorridas por una sola cuerda, estos sistemas permiten levantar objetos que tienen grandes cargas ya que con cada polea que se acople se disminuye la fuerza necesaria para levantarlo (Cristi, 2003). En los polipastos encontramos los aparejos factoriales que cuenta con un número par de poleas, la mitad son fijas y la otra mitad son móviles, la fuerza que se tiene que emplear depende de cuántas poleas móviles se coloquen. Figura 7, para este tipo de polipastos la fuerza que tenemos que ejercer para equilibrarlo el peso (R) depende del número de poleas móviles (N) como indica la ecuación (2).

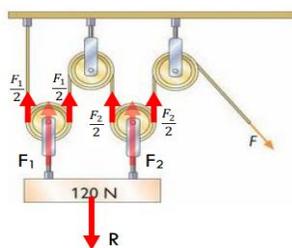


Figura 7. Polipastos.

Fuente (Ingeniería, 2019)

$$F = \frac{R}{2 * N} \quad (2)$$

2.2.10 Sistema de acondicionamiento de energía. En los sistemas de acondicionamiento de energía se presentan dos tipos en corriente continua, el primero hace uso de los reguladores lineales y el segundo de reguladores conmutados. Como la validación del prototipo se realizó en baja potencia se puede analizar los dos tipos de reguladores y su incidencia en la eficiencia del sistema de almacenamiento.

2.2.10.1 Reguladores lineales.

Los reguladores de voltaje lineal, o reguladores lineales de baja caída, usan un transistor controlado por un circuito de retroalimentación negativa para producir un voltaje de salida específico que se mantiene estable a pesar de las variaciones en la corriente de carga y el voltaje de entrada (Huircán, 2010).

Aunque los reguladores lineales son típicamente inferiores a los reguladores de conmutación con respecto a la eficiencia, que para la mayoría de estos reguladores ronda el 60% (Huircán, 2010), todavía se usan ampliamente, por varias razones. Las principales ventajas son la facilidad de uso, el bajo ruido de salida y el bajo costo. Los únicos componentes externos requeridos por la

mayoría de los reguladores lineales son los capacitores de entrada y salida, y los requisitos de capacitancia son lo suficientemente flexibles como para que la tarea de diseño sea muy sencilla. Uno de los valores a tener en cuenta para el cálculo de la eficiencia general del sistema de almacenamiento de energía es la potencia disipada por el regulador de voltaje, la cual se calcula considerando la diferencia entre el voltaje de entrada y el de salida y esté multiplicado por la corriente de carga como se muestra en la ecuación (3).

$$Potd = (V_{int} - V_{out}) * I \quad (3)$$

2.2.10.2 Reguladores conmutados.

En el sistema de acondicionamiento de energía de corriente continua se utilizan los convertidores o reguladores DC-DC que se utilizan para fuentes de tensión continua, ya sea fija o variables, con el fin de conseguir un valor de tensión estable a la salida sin que esta se vea afectada por posibles fluctuaciones en la tensión de entrada o en la carga conectada en la salida (Ramos, 2017). Estos convertidores se componen de semiconductores que, al aplicarles una serie de señales de control, se comportan como interruptores que se cumplen la función de apertura y cierre con el fin de convertir un nivel de tensión determinado a uno diferente, controlando el tiempo de salida de apertura y cierre del semiconductor.

El funcionamiento de los reguladores DC es el mismo para la gran mayoría, y es el principio de almacenamiento y transferencia de energía en ciclos de conmutación. El ciclo que de trabajo del regulador se basa en el funcionamiento del interruptor cuando se abre y se cierra siguiendo una señal de periodo (T). El tiempo durante el cual es interruptor está cerrado, se denomina tiempo de conducción (T_{on}). Por otro lado, el tiempo que el interruptor permanece abierto, se llama tiempo de bloqueo (T_{off}). La suma de T_{on} y T_{off} forman el periodo del convertidor (Ramos, 2017), como lo muestra la Figura 8.

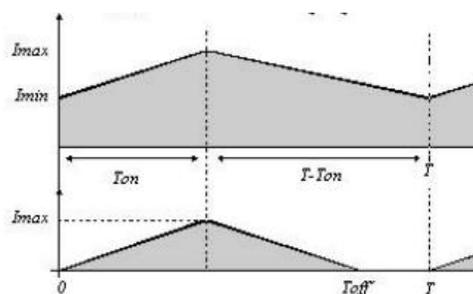


Figura 8. Tiempo ciclos de trabajo.
Fuente (Ramos, 2017)

La potencia que entrega el convertidor está dada en la ecuación (31).

$$s = \frac{T_{on}}{T} \quad (4)$$

De la expresión anterior (4) se puede decir que se presenta tres formas diferentes de modificar el ciclo de trabajo, y por tanto la tensión de salida.

- Variando el tiempo de conducción T_{on} , de la misma manera se mantiene T fijo. Manteniendo la frecuencia de la señal del convertidor constante, mientras varía la anchura del pulso que define el tiempo de conducción del convertidor, a esto se llama modulación por ancho de pulso (PWM)
- Variando T y conservando T_{on} constante. La frecuencia del convertidor es la que varía en este caso. Pero este método tiene inconvenientes en la generación indeseada de armónicos a frecuencias impredecibles.
- Modificando el tiempo de conducción T_{on} y T

Existen tres configuraciones básicas en los reguladores que son: convertidor Buck (reductor de tensión), convertidor Boost (elevador de tensión) y convertidor Buck-Boost (elevador-reductor de tensión). Los cuáles serán utilizados en el proyecto.

Convertidor Buck (Reductor)

El convertidor Buck, es un tipo de convertidor conmutado DC-DC también conocido por el nombre del convertidor reductor (step-Down), la función de este convertidor es mantener una tensión de salida inferior a la de entrada regulada frente a variaciones de la tensión de entrada o de la carga (Deane & Hamill, 1990).

El convertidor forma parte de los convertidores de segundo orden, debido a que en él se encuentran dos elementos almacenadores de energía. En la Figura 9 se muestra el circuito del convertidor con el fin de estudiar su funcionamiento.

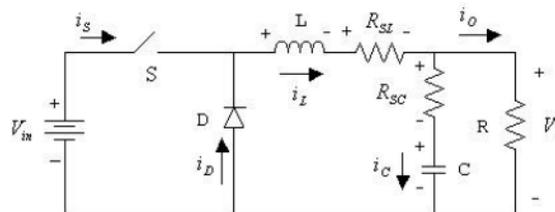


Figura 9. Esquema de un convertidor tipo Buck.

Fuente (Deane & Hamill, 1990)

En este regulador para su funcionamiento es dividido en dos etapas cuando el interruptor S se encuentra en estado ON y OFF. En la etapa ON cuando el interruptor está cerrado el diodo D se encuentra abierto debido a que el voltaje del catodo es mayor que el del ánodo. La corriente aumenta y el inductor L produce un voltaje opuesto en respuesta debido a la corriente cambiante, esta caída de tensión contrarresta el voltaje de la fuente V_{in} , reduciendo el voltaje neto a través de la carga. Con el tiempo, la tasa de cambio de la corriente disminuye y el voltaje a través del inductor también disminuye, aumentando el voltaje en la carga. Durante este tiempo, el inductor almacena energía en forma de campo magnético. Si el interruptor se abre mientras la corriente todavía está cambiando, entonces siempre habrá una caída de voltaje a través del inductor, por lo que el voltaje neto en la carga siempre será menor que la fuente de voltaje de entrada. El inductor al estar cargado será la diferencia entre la salida y entrada, así obtendremos la corriente en estado ON en la ecuación (6).

$$i_L(t) = \frac{V_{in} - V_0}{L} t + C \quad (5)$$

$$\Delta i_L(ON) = \frac{V_{in} - V_0}{L} DT \quad (6)$$

Cuando el interruptor se abre nuevamente o en estado OFF, la fuente de voltaje se eliminará del circuito y la corriente disminuirá. La corriente decreciente producirá una caída de voltaje a través del inductor (opuesto a la caída en el estado encendido), y ahora el inductor se convierte en una fuente de corriente. La energía almacenada en el campo magnético del inductor soporta el flujo de corriente a través de la carga. Esta corriente, que fluye mientras la fuente de voltaje de entrada está desconectada, cuando se concatena con la corriente que fluye durante el estado encendido, totaliza una corriente mayor que la corriente de entrada promedio (siendo cero durante el estado apagado). El "aumento" de la corriente media compensa la reducción de la tensión e idealmente conserva la potencia suministrada a la carga. Durante el estado apagado, el inductor descarga su energía almacenada en el resto del circuito. En este caso, el voltaje a través del inductor es el voltaje de salida, entonces la ecuación (8) representa el estado OFF.

$$i_L(t) = \frac{-V_0}{L} t + C \quad (7)$$

$$\Delta i_L(OFF) = \frac{-V_0}{L} (1 - D)T \quad (8)$$

Para encontrar la salida en función de la entrada se suman ambas corrientes ON y OFF y se las iguala a 0, quiere decir que corriente ON es igual a la corriente OFF, despejando obtendremos

que la salida es igual a la entrada multiplicada por el ciclo de trabajo como lo muestra la ecuación (10).

$$\frac{V_{in} - V_0}{L}DT + \frac{-V_0}{L}(1 - D)T = 0 \quad (9)$$

$$V_0 = DV_{in} \quad (10)$$

Convertidor Boost (Elevador)

El convertidor Boost, es un tipo de convertidor conmutado DC-DC también conocido por el nombre de convertidor elevador (Step-Up). La función de este convertidor es mantener una tensión de salida regulada frente a variaciones de la tensión de entrada o de la carga (Ramos, 2017) en la Figura 10 se muestra el esquema de este tipo.

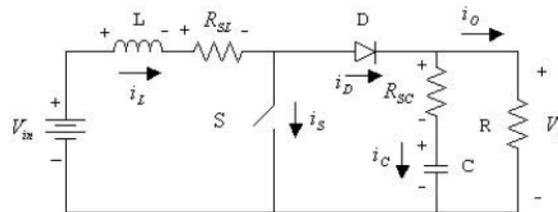


Figura 10. Esquema de un convertidor tipo Boost.

Fuente (Ramos, 2017)

Este tipo de convertidor también es de segundo orden. Para estudiar cómo funciona, lo dividiremos en dos etapas. Las etapas ON y OFF. En la parte ON, el interruptor S está cerrado el diodo está abierto porque el voltaje del cátodo es mayor que el del ánodo. El principio clave que impulsa el convertidor elevador es la tendencia de un inductor a resistir cambios en la corriente creando y destruyendo un campo magnético. En un convertidor elevador, el voltaje de salida es siempre más alto que el voltaje de entrada. Cuando el interruptor está cerrado, la corriente fluye a través del inductor en el sentido de las agujas del reloj y el inductor almacena algo de energía al generar un campo magnético. La polaridad del lado izquierdo del inductor es positiva. Entonces, en este caso, obtenemos la corriente a través del inductor en la ecuación (12).

$$i_L(t) = \frac{V_{in}}{L}t + C \quad (11)$$

$$\Delta i_L(ON) = \frac{V_{in}}{L}DT \quad (12)$$

Cuando se abre el interruptor, la corriente se reducirá a medida que la impedancia sea mayor. El campo magnético creado previamente se destruirá para mantener la corriente hacia la carga. Por lo tanto, la polaridad se invertirá (significa que el lado izquierdo del inductor será

negativo ahora). Como resultado, dos fuentes estarán en serie causando un voltaje más alto para cargar el capacitor a través del diodo D. En este caso, el voltaje a través del inductor es la diferencia entre el voltaje de salida y el de entrada. En la ecuación (14) obtenemos la corriente de la parte OFF dependiendo del ciclo de trabajo.

$$i_L(t) = \frac{V_{in} - V_0}{L} t + C \quad (13)$$

$$\Delta i_L(OFF) = \frac{V_{in} - V_0}{L} (1 - D)T \quad (14)$$

Para encontrar la salida en función de la entrada se suman ambas corrientes ON y OFF y se las iguala a 0, quiere decir que corriente ON es igual a la corriente OFF, despejando obtendremos que la salida es igual a la entrada multiplicada por el ciclo de trabajo como lo muestra la ecuación (16).

$$\frac{V_{in}}{L} DT + \frac{V_{in} - V_0}{L} (1 - D)T = 0 \quad (15)$$

$$V_0 = \frac{1}{1 - D} V_{in} \quad (16)$$

2.2.11 Supercondensadores. Son dispositivos electroquímicos denominados ultra condensadores o condensadores electroquímicos, los cuales son capaces de sostener una densidad de energía inusualmente alta en comparación con los condensadores normales, debido estos demuestran un rendimiento excepcional de potencia, excelente reversibilidad y un ciclo de vida muy largo (mayor a un millón de ciclos), genera menos calor termoquímico debido a los mecanismos asociados de almacenamiento de cargar más simples (Zhang & Pan, 2014). Son utilizados en productos de consumo eléctrico, sistemas de respaldo de memoria y administración de energía.

Los supercondensadores se pueden caracterizar por su rendimiento energético el cual se mide mediante parámetros claves, que incluye la capacidad total, resistencia en serie equivalente, densidad de potencia, densidad de energía y la constante de tiempo.

- **Capacidad**

La capacidad total (C_T) de un supercondensador es el cociente entre de la carga eléctrica ΔQ almacenada bajo un cambio de voltaje dado ΔV como lo muestra la ecuación (17).

$$C_T = \frac{\Delta Q}{\Delta V} \quad (17)$$

- **Resistencia en serie equivalente**

Un supercondensador no es un componente eléctrico ideal en el sentido de que tiene su propia resistencia interna y por lo tanto, disipa energía almacenada (Zhang & Pan, 2014). En la Figura 11 se muestra que una celda de un supercondensador es simplemente un circuito RC. Esta resistencia generalmente se llama resistencia en serie equivalente (R_{ES}) y es esencial para reflejar el rendimiento energético y la eficiencia de los supercondensadores. En general una R_{ES} pequeña es preferible para un mejor rendimiento electroquímico.

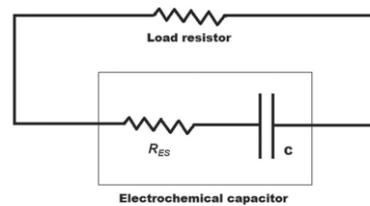


Figura 11. Circuito serie RC para supercondensadores.

Fuente (Ramos, 2017).

- **Constante de tiempo**

Se define como el producto de R_{ES} y C_T como se muestra en la ecuación (18), usando el circuito RC equivalente de la Figura 11, un tiempo pequeño refleja una mejor capacidad de respuesta del dispositivo y para mayoría de supercondensadores comerciales oscila entre 0.4 y 3.6 segundos.

$$\tau = R_{ES} * C_T \quad (18)$$

- **Densidad de potencia**

Es uno de los principales méritos su excelente rendimiento de potencia y el método de cálculo más utilizados se presenta en la ecuación (19).

$$P_D = \frac{V^2}{4R_{ES}} \quad (19)$$

- **Densidad de energía**

Es la electricidad almacenada o liberada de los supercondensadores, la cual es evaluada a través de la integración del diagrama de trabajo (Zhang & Pan, 2014). En la Figura 12 se ilustra el diagrama de trabajo para condensadores híbridos (HCs), donde la energía eléctrica almacenada puede obtenerse de la curva de carga y la energía entregable de la curva de descarga (Zhang & Pan, 2014).

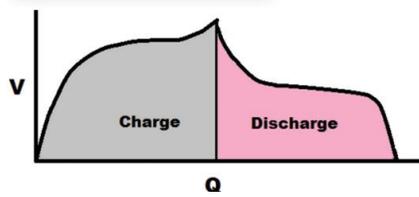


Figura 12. Diagrama de trabajo representativo de la prueba CCCD para HCs.

Fuente (Ramos, 2017).

Para los condensadores híbridos con curvas de carga y descarga no lineales ilustrado en la figura anterior, la integración del diagrama de trabajo no tiene una solución simple ya que depende de la forma específica de la curva de modo que la ecuación es la siguiente:

$$E_D = \int_0^Q V_0 dq = \frac{V_0 * Q}{2} = \frac{C_T * V_0^2}{2} \quad (20)$$

Dividiendo por 3600, se puede obtener la densidad en vatios hora (Wh)

$$E_D = \frac{\frac{1}{2} C_T * V_0^2}{3600} \quad (21)$$

2.2.12 SolidWorks. Es un software de automatización de diseño mecánico que permite a diseñadores croquizar ideas con rapidez, experimentar con las operaciones y cotas para producir modelos y dibujos detallados (Diaz, 2011). Al diseñar una pieza en SolidWorks este utiliza un procedimiento de diseño en 3D, desde el croquis inicial hasta el resultado final, a partir de este modelo es posible crear dibujos o componentes en 2D (Diaz, 2011). Un modelo en 3D consta de piezas, ensamblaje y dibujos, los cuales muestran el mismo modelo en documentos distintos, los cambios que se efectúen en el modelo de un documento se propagaran a los demás documentos donde se encuentre dicho modelo.

Estas son alguna de las terminologías utilizadas en el software de SolidWorks.

- Origen: Representan el punto de coordenadas (0,0,0) del modelo y tiene el aspecto de dos flechas azules.
- Planos: geometría constructiva plana para utilizar planos con el fin de agregar un plano 2D y tener la vista de sección de un modelo.
- Eje: Línea recta utilizada para crear la geometría, las operaciones o matrices del modelo.
- Cara: límites que contribuyen en la definición de la forma o superficie de un modelo.
- Artista: Lugar en donde se entrecruzan dos o más caras y se unen.
- Vórtice: Punto donde se entrecruzan dos o más líneas.

2.3 Definición de variables

- ✓ Capacidad de almacenamiento de energía eléctrica.
- ✓ Eficiencia en la conversión de energía potencial gravitacional a energía eléctrica de corriente continua (eficiencia de descarga).
- ✓ Eficiencia de carga y descarga del sistema de almacenamiento.

2.3.1 Definición nominal de variables

Capacidad de almacenamiento de energía eléctrica: Los sistemas de almacenamiento de energía son sistemas complejos, que comprenden desde un punto de vista general dos subsistemas principales. El primero de ellos es el medio físico que permite almacenar energía (motor). Esta función puede alcanzarse en diferentes formas (energía mecánica, eléctrica, etc.) para este caso se representa como energía potencial gravitacional. El segundo es el subsistema que permite el intercambio energético entre el medio que almacena energía y un sistema exterior, como lo es la red eléctrica. A este subsistema se le conoce como el sistema de conversión de potencia (PCS), y puede estar representado por la electrónica de potencia atendiendo a diversos requerimientos de diseño como la modularidad, controlabilidad, eficiencia, coste y protección ante eventualidades y la cual actúa de interfaz entre el generador y la red eléctrica.

Eficiencia en la conversión de energía potencial gravitacional a energía eléctrica de corriente continua: Las energías emitidas por un factor natural, como lo es la gravedad la cual afecta a un objeto que se encuentre a una altura relativa entre 2 puntos de referencia es tomada como energía potencial gravitacional, que por medio de un sistema de conversión de movimientos es posible girar un generador de corriente eléctrica y cuya eficiencia dependerá de la electrónica de potencia y del motor-generador utilizado.

Eficiencia de carga y descarga del sistema de almacenamiento: se comprende como la relación entre la energía descargada por la batería o energía aprovechable y la energía requerida para la carga de la misma.

2.3.2 Definición operativa de variables

Eficiencia en la conversión de energía potencial gravitacional a energía eléctrica de corriente continua: Si se habla en términos de eficiencia es importante aclarar que la eficiencia de la conversión de energía potencial gravitacional a energía eléctrica de corriente continua, dependerá directamente de la eficiencia del generador eléctrico que es la relación que existe entre su potencia de salida y su potencia de entrada, bajo condiciones específicas de operación.

$$n = \frac{\text{Energía eléctrica}}{\text{Energía potencial gravitacional}} \times 100 \%$$

Capacidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica: La capacidad de almacenamiento dependerá de la conversión de energía potencial gravitacional a energía eléctrica y esta se realiza por medio de peso suspendido el cual está atado a un sistema de engranajes que son accionados por la gravedad que se ejerce sobre este peso o masa. Con el propósito de girar el eje de un generador eléctrico, de esta forma se obtendrá una diferencia de tensión (Voltaje) en la salida del generador. La ecuación que representa esta conversión es:

$$P_{\text{eléctrica}} = n * \frac{mgh}{t} \quad (22)$$

P eléctrica: Potencia del generador (J/s).

n: eficiencia del generador

m: masa (Kg).

g: gravedad (m/s²).

h: altura de la masa (m).

t: tiempo de traslación de una altura determinada al suelo (s).

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis de investigación. El sistema de almacenamiento y suministro de energía eléctrica mediante el uso de energía potencial gravitacional tiene una expectativa de eficiencia del 50%.

2.4.2 Hipótesis nula. El sistema de almacenamiento y suministro de energía eléctrica mediante el uso de energía potencial gravitacional no tiene una expectativa de eficiencia del 50%.

2.4.3 Hipótesis alternativa. El sistema de almacenamiento y suministro de energía eléctrica mediante el uso de energía potencial gravitacional tiene una expectativa de eficiencia comprendida entre el 40 y el 70%.

La eficiencia dependerá de la electrónica de potencia, el motor y la potencia de funcionamiento, pero no dependerá directamente de las dimensiones físicas del peso suspendido (Botha & Kamper, 2019). Para un sistema en particular, se espera que la eficiencia sea relativamente constante con un valor del 50% (Morstyn et al., 2019). Este valor ha sido propuesto por *Gravitricity*, y se ha utilizado al evaluar sistemas similares, incluidas las grúas con frenado regenerativo y la tecnología de almacenamiento de *Gravity Power*. De lo anterior mencionado se concluye que; para que el sistema de almacenamiento de energía tenga éxito su eficiencia debe estar por encima del 60% teniendo en cuenta el análisis de los antecedentes estudiados.

3. Metodología

3.1 Enfoque

El enfoque cuantitativo en las ciencias sociales se origina en la obra de Auguste Comte (1798 – 1857) y Emile Durkheim (1858 – 1917). Ellos proponían que el estudio sobre los fenómenos sociales requería de ser científico, es decir, susceptible de ser adquirido a través de la aplicación del método científico y sostenían que todos los fenómenos se podían medir, a esta corriente se le llamo Positivismo, la piedra angular de la ciencia según el positivismo es el dato (observable, positivo) (Vega Malagón et al., 2014)

De esta manera el enfoque de la investigación es cuantitativo ya que los datos recolectados son cuantificables como es la potencia, la energía, voltaje, corriente y eficiencia.

3.2 Paradigma

El neopositivismo es la visión filosófica nacida del empirismo moderno en la experiencia del Círculo de Viena, cuyos miembros más representativos, durante las persecuciones antisemitas en Europa, emigraron a los Estados Unidos y a Inglaterra, donde desarrollaron sus ideas. Para el neopositivismo existen solo dos modos de verificación de enunciados, la verificación analítica, de acuerdo a la significación de las palabras y de los números y signos, y la verificación empírica propia de los juicios sintéticos. El neopositivismo es la lógica la que conecta, no solo los elementos que forman la proposición, sino que también las proposiciones entre sí. (Nubiola Aguilar, 1999).

La presente investigación es neopositivista ya que al diseñar un sistema de almacenamiento de energía eléctrica se involucran procesos matemáticos, de control y análisis numérico, los cuales permiten que el sistema a desarrollar cuente con cierto valor de eficiencia, para lo que se requiere que con el modelamiento matemático del sistema aumente el valor de eficiencia lo más alto posible.

3.3 Método

El método científico tiene su base y postura sobre la teoría mecanicista (todo es considerado como una máquina, y para entender el todo debemos descomponerlo en partes pequeñas que permitan estudiar, analizar y comprender sus nexos, interdependencia y conexiones entre el todo y sus partes) (Rodríguez & Pérez, 2017). La presente investigación tiene como base el método

científico ya que a partir del estudio de la conversión de la energía potencial gravitacional a la energía eléctrica se pretende crear un sistema de almacenamiento de energía cuya eficiencia tenga un valor aproximado a el 60%.

3.4 Tipos de investigación

3.4.1 Investigación correlacional La presente investigación es de tipo correlacional, puesto que pretende medir el grado de relación entre la energía potencial gravitacional y la energía eléctrica.

3.5 Diseño de investigación

El diseño de investigación es experimental puro, puesto que pretende manipular una variable independiente de dos grupos en condiciones equiparables. para observar cómo se comparta la variable dependiente. Se analizan las siguientes variables (eficiencia del almacenamiento y suministro de energía)

Tratamiento experimental: Rectificar el pico de potencia máxima (w), potencia de salida (w) y voltaje de salida (V) para así obtener una salida de voltaje requerida y una cantidad de energía que cumpla con los valores establecidos que son de 2.4Wh a 10 kWh.

3.5.1 Tipología sobre los diseños experimentales.

RG1	X1	O1
RG2	-	O2

G: grupo experimental: almacenamiento de energía eléctrica por medio de energía potencial gravitacional.

X: tratamiento experimental: Rectificación y adecuación de parámetros de energía.

O: mediciones realizadas a un grupo: Eficiencia del sistema.

GRUPO 1

RG1: almacenamiento de energía eléctrica por medio de energía potencial gravitacional

X1: rectificación del pico de potencia máxima (w), potencia de salida (w) y voltaje de salida (V). para así obtener una salida de voltaje requerida y una cantidad de energía que cumpla con los valores especificados que son de 2.4Wh a 10 kWh.

O1: eficiencia 65%

GRUPO 2

RG2: almacenamiento de energía eléctrica por medio de energía potencial gravitacional

O2: eficiencia 40%

3.6 Universo

El universo seleccionado para el desarrollo de esta investigación es el sistema de almacenamiento y suministro de energía eléctrica a partir de energía potencial gravitacional.

3.7 Muestra

La muestra seleccionada es no probabilística ya que se pretende realizar la construcción del sistema de almacenamiento y suministro de energía eléctrica a partir de energía potencial gravitacional.

3.8 Técnicas de recolección de la información

Observación directa. Consiste en observar el objeto de estudio dentro de un ambiente particular, sin la necesidad de intervenir o alterar el ambiente. Por medio de esta técnica se pretende estudiar el funcionamiento del prototipo para realizar ajustes y mejoras que conlleven a una mayor capacidad de almacenamiento y eficiencia de conversión. Esta técnica es confiable debido a que el sistema no es intervenido en su funcionamiento, por lo tanto, los resultados obtenidos serán propiamente del sistema, además con la información se validan ecuaciones y simulaciones del sistema.

3.8.1 Instrumentos de recolección de información. Son los medios necesarios para la recolección y almacenamiento de los resultados del objeto de investigación.

3.8.2 Archivo plano. Está conformado solo por texto, no requieren de formato ya que no requieren ser interpretados para leerse. En este proyecto Se creará una un archivo plano en Excel en el cual se guardar toda la información suministrada de los instrumentos utilizados y resultados de las simulaciones representadas en el programa SIMULINK.

3.9 Equipos de recolección de información.

Para la recolección de información de la eficiencia de potencial gravitacional a energía eléctrica de corriente alterna y la capacidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica se tendrá en cuenta lo siguiente.

3.9.1 Instrumentos. los instrumentos que se utilizan son: el osciloscopio y el multímetro además de la plataforma de simulaciones SIMULINK. Estos equipos son indispensables para medir la energía eléctrica, estos proporcionan la información necesaria para solventar parámetros requeridos en ecuaciones y simulaciones realizadas en la plataforma de SIMULINK para validar el prototipo.

Osciloscopio digital. Es un dispositivo electrónico de medición que representa gráficamente señales eléctricas variables en el tiempo, mostradas a través de una pantalla digital, donde el eje X representa el tiempo de la señal y el eje Y representa el voltaje de la señal, esta pantalla esta dividida en una cuadrícula, en la cual permite medir una relación preestablecida entre distancia y voltaje. Este equipo funciona por medio de un sistema de procesamiento digital de la señal, el cual toma datos por medio de una de una sonda, estos datos se almacenan y posteriormente se visualizan reconstruyendo la señal original y ajustando la amplitud de la señal en la pantalla, de la misma forma se visualiza la información correspondiente a la señal de entrada (Chaves Osorio et al., 2007).

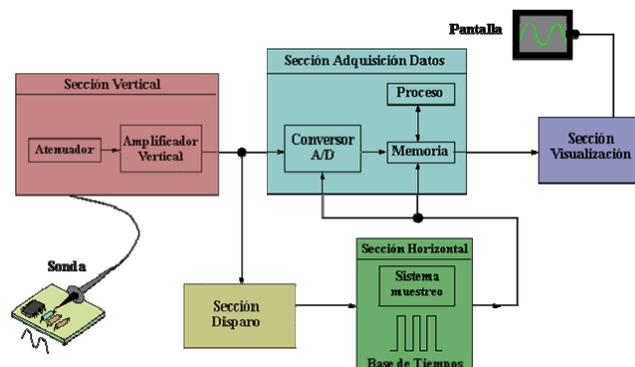


Figura 13. Funcionamiento de un osciloscopio digital.

Fuente (Chaves Osorio et al., 2007).

Multímetro. Es un instrumento que permite medir directamente magnitudes eléctricas activas como corrientes y diferencia de potenciales o pasivas como resistencias, capacidades y otras, estas medidas pueden realizarse en corriente continua o alterna. Para que estas magnitudes puedan

ser medidas el multímetro utiliza la ley de Ohm que establece que, la tensión es igual a la corriente por resistencia (Voltaje $V = Corriente I * Resistencia R$), si se conocen dos valores de la formula el tercero puede ser encontrado, dependiendo del parámetro a encontrar el multímetro se adapta a las necesidades cambiando su estructura interna para que dichas mediciones sean realizadas como lo indica la Figura 14. Los multímetros digitales utilizan un conversor análogo/digital y un microprocesador para realizar los cálculos precisos obteniendo así el 1% de error en la lectura, luego estos cálculos se presentan en un display numérico del multímetro (Fluke Corporation, 2014).

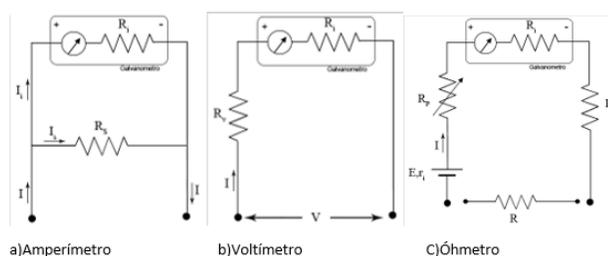


Figura 14. Funcionamiento de Multímetro Digital.

Fuente (Fluke Corporation, 2014).

SIMULINK (Matlab).

(Ramírez, 2012) explica que MATLAB es un lenguaje de alto nivel para realizar cálculos científico-técnicos. Integra las herramientas de cálculo necesarias con otras de visualización, así como, un entorno de programación de fácil uso. Es por esto que Matlab es una de las principales herramientas que se tendrán en cuenta para realizar el modelamiento del presente proyecto.

Aplicaciones típicas

- ✓ Cálculo matemático
- ✓ Desarrollo de algoritmos
- ✓ Adquisición de datos
- ✓ Modelado, simulación y prototipado
- ✓ Análisis de datos y visualización
- ✓ Gráficos
- ✓ Desarrollo de aplicaciones e interfaces gráficas de usuario (GUI).

Por otra parte una de las principales herramientas que incluye MATLAB es SIMULINK el cual es una herramienta para modelado, simulación y análisis de sistemas dinámicos (Ramírez, 2012). Soporta tanto sistemas lineales como no lineales: en tiempo continuo, muestreados, híbridos y sistemas multifrecuencia (contienen sistemas muestreados a diferente frecuencia).

4. Resultados

4.1 Modelamiento del sistema

4.1.1 Relación entre energía potencial gravitacional con energía eléctrica. La energía potencial gravitacional se presenta cuando una masa es sumergida dentro de un campo gravitacional. Dicha energía depende de la posición de la masa dentro del campo antes mencionado. Si se deja que dicha masa se mueva libremente, entonces la forma espontánea de este movimiento será siempre en la dirección hacia la cual disminuye la energía potencial gravitacional. Otra forma de describir esto es considerando que el sistema siempre tratará de minimizar la energía potencial gravitacional. Según (Albarrán-Zavala, 2008), la fórmula conocida para calcular esta energía (Eg) almacenada en un objeto de masa m , en una posición definida por la coordenada vertical z y sometido a una aceleración de la gravedad g está definida en la siguiente ecuación.

$$Eg = mgz \quad (23)$$

El proceso natural se lleva a cabo cuando los cuerpos se mueven desde una posición z superior (altura mayor) hacia una posición z inferior (altura menor). En términos de la función potencial gravitacional, el movimiento espontáneo ocurre cuando la masa se ha desplazado desde un potencial gravitacional mayor hacia un potencial gravitacional menor (Albarrán-Zavala, 2008). Para calcular la diferencia de energía durante el proceso, es necesario hacer la resta entre las condiciones iniciales y finales, referidas por los subíndices i y f respectivamente como se observa en la ecuación (24).

$$Eg(i) = mgz(i) \quad Eg(f) = mgz(f) \quad (24)$$

$$\Delta Eg = mg\Delta z \quad (25)$$

Donde se define la diferencia de energía potencial gravitacional.

$$\Delta Eg = Eg(f) - Eg(i) \quad (26)$$

La ecuación (25) adquiere valores negativos cuando el objeto se mueve en dirección espontánea, de esta forma el signo menos indica que el sistema está perdiendo energía, la cual se convertirá y disipará como calor. Por el contrario, el signo positivo implica que el objeto se está moviendo en la dirección no espontánea y que se está haciendo trabajo sobre él, es así que el sistema adquiere y almacena energía. Por otra parte, gracias a el teorema del trabajo se puede realizar la siguiente igualdad.

$$W = \Delta Eg \quad (27)$$

Donde w es el trabajo y a partir de la ecuación (25) se puede obtener la siguiente relación.

$$W = mg\Delta z \quad (28)$$

Es de gran importancia enfocarse en el estudio de otra definición escalar, llamada potencia. A la cual se define como la cantidad del trabajo efectuado entre el tiempo en el que se efectúa (Navarro Pérez, 2018). Así como *Serway & Jewet*, (2004) afirma. “Si se aplica una fuerza externa a un objeto, y el trabajo realizado por esta fuerza es (W) en el intervalo de tiempo Δt , entonces la potencia promedio durante este intervalo de tiempo” se puede expresar de la siguiente forma.

$$p = \frac{W}{\Delta t} \quad (29)$$

Para el presente caso de estudio se considera dos tipos de potencia, la eléctrica (Pe) la cual se define como la cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado.

$$Pe = I * V \quad (30)$$

y la mecánica (Pm) que es el resultado del producto de la fuerza aplicada (masa por la gravedad) y la velocidad.

$$Pm = mgv = mg * \frac{D'}{t} \quad (31)$$

La potencia mecánica también se puede expresar en términos de par motor, el cual está definido en el sistema internacional de medidas como Nm y la ecuación característica es la siguiente.

$$pm = Nm * Rpm * \frac{2\pi}{60} \quad (32)$$

El factor $2\pi/60$ convierte las revoluciones por minuto en radianes por segundo para que el resultado obtenido este Watts, también se puede expresar el par motor en términos de $kg.cm$ como se puede observar en la ecuación (33).

$$pm = \frac{(kg.cm)}{10} * Rpm * \frac{2\pi}{60} \quad (33)$$

Hasta el momento, el hombre todavía no ha logrado construir una maquina al 100% eficiente, pues un porcentaje de la potencia se pierde en el calor que disipa al medio ambiente, en el rozamiento de sus engranajes o en el calentamiento de la máquina. Entonces, podemos mencionar a la eficiencia mecánica de una maquina “como la razón de la salida de potencia útil producida por la maquina a la entrada de potencia suministrada a la maquina” (Navarro Pérez, 2018). Por consiguiente.

$$n(\text{motor}) = \frac{P_{out}}{P_{int}} * 100 \% = \frac{P_m}{P_e} * 100\% \quad (34)$$

La ecuación (34) describe el valor de eficiencia de un motor, para encontrar el valor de eficiencia de un generador en este caso basta con intercambiar la potencia de entrada con la de salida como se observa en la siguiente ecuación.

$$n(\text{generador}) = \frac{P_e}{P_m} * 100\% \quad (35)$$

Teniendo en cuenta el valor de eficiencia de un generador, el cual describe la cantidad de potencia eléctrica generada a partir de una potencia mecánica, la ecuación de un generador en función de ese valor de eficiencia es la siguiente.

$$P_{e_{generador}} = n \frac{mgD'}{t} = nP_m \quad (36)$$

Despejando la potencia mecánica se obtiene.

$$P_m = \frac{P_{e_{generador}}}{n} \quad (37)$$

Igualando la ecuación (37) con la ecuación (31) se obtiene la siguiente expresión.

$$\frac{P_{e_{generador}}}{n} = mg \frac{D'}{t}$$

Como la energía es el producto entre la potencia y el tiempo, a partir de la anterior igualdad se define la ecuación que describe la capacidad de almacenamiento de energía eléctrica.

$$E = \eta mgD' \quad (38)$$

Donde η es la eficiencia de generador, m es la masa del peso suspendido, g es la aceleración debida a la gravedad y D' es la distancia útil para el almacenamiento de energía. Sea h la altura del peso y d sea su ancho, estos valores se pueden observar con más detalle en la Figura 15.

$$D' = D - h \quad (39)$$

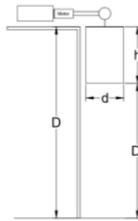


Figura 15. Diagrama general del sistema.

Una forma para describir la eficiencia total del sistema es teniendo en cuenta la eficiencia de carga y descarga, la cual es el porcentaje de energía eléctrica almacenada que luego se recupera.

Cuanto mayor sea la eficiencia del viaje de ida y vuelta, menos energía se pierde en el proceso de almacenamiento.

$$n = \frac{\text{Energía de salida}}{\text{Energía de entrada}} * 100\% \quad (40)$$

4.1.2 Capacidad del sistema de almacenamiento de energía. Ésta es la disponibilidad de capacidad de energía distribuible, el sistema debe estar diseñado para cuando el costo de la energía es bajo poder almacenarla (la oferta es abundante y la demanda es baja) y ser liberada cuando el costo (demanda) es alto. Por lo general, se considera que esta función requiere una duración mínima de descarga de 2 horas (Eyer & Corey, 2011). El tiempo máximo de descarga requerido es de 5 a 6 horas (Eyer & Corey, 2011). Para las aplicaciones de cambio de tiempo de energía, el costo operativo variable y la eficiencia de carga y descarga del almacenamiento son particularmente importantes.

En el objetivo general del presente proyecto se tiene en cuenta que la validación se realiza por medio de un prototipo que produzca carga a dispositivos portables, por medio de la aplicación Ampere de Android se realiza la medición del consumo de corriente y voltaje para determinar la potencia. Para este caso se utilizó el celular de referencia LG Stylus 3, los resultados obtenidos del consumo de corriente se pueden observar en la Figura 16.



Figura 16. (A) Celular LG Stylus 3, (B) cálculo de consumo de corriente.

La corriente consumida por el smartphone es de 240 mA de carga mínima aproximadamente y un voltaje de 5v, utilizando la ecuación (30) se obtiene que la potencia eléctrica de consumo es de 1.2 Watt. Para obtener la energía consumida por el dispositivo al cargar se hace uso de la siguiente ecuación.

$$E = Pe * t \quad (41)$$

La energía necesaria es el producto entre la potencia consumida (1.2 Watt) y el tiempo de carga del dispositivo (2 horas) se obtiene un valor de 2.4Wh, en el sistema internacional de unidades la energía se expresa en julios (J) la conversión entre Watts hora y julios se expresa de la siguiente forma.

$$1Wh = 3600 J \quad (42)$$

Por lo tanto, la energía almacenada debe ser aproximadamente 8640 J, a partir de la ecuación (38) despejando la masa necesaria se obtiene la siguiente expresión.

$$m = \frac{P e t}{\eta g D'} = \frac{E}{\eta g D'} \quad (43)$$

Uno de los parámetros más importantes es la distancia útil (D') el presente proyecto enfoca su implementación para edificios de la ciudad de pasto, donde como mínimo se establece un número de 12 pisos hasta 22 pisos promedio, donde cada piso cuenta una altura de 3 metros aproximadamente para lo cual se obtienen alturas entre 36 metros hasta 66 metros lineales. Al establecer un valor de energía de 8640 J una distancia de 63 metros, una eficiencia de generador sin regulador del 44% y remplazando en la ecuación (43) se obtiene una masa necesaria de 32 kg.

El valor de eficiencia tiene gran importancia en la implementación del sistema puesto que, si se trabaja con un motor capaz de obtener un valor de eficiencia de carga y descarga mayor, el peso a levantar sería considerablemente menor para la misma cantidad de energía almacenada, como se observa en la Figura 17.

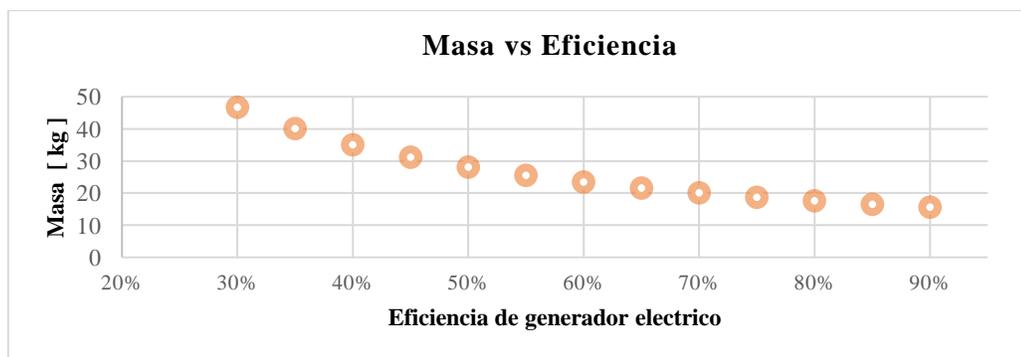


Figura 17. Relación entre masa y eficiencia de generador.

En la figura se observa que a medida que el valor de eficiencia se acerca a el 90% se necesita menos masa obteniendo con esto un sistema de almacenamiento de energía más económico. La eficiencia que se tuvo en cuenta para el presente calculo aún no estima la eficiencia del regulador

de voltaje puesto que este disminuirá la eficiencia general del sistema aumentando así la masa necesaria para alcanzar la capacidad de almacenamiento requerido.

4.1.3 Selección del motor generador eléctrico. Para la selección del motor generador se debe tener en cuenta la potencia de generación o la potencia que consumirá la posible carga que se le conecta al sistema de almacenamiento de energía. El generador eléctrico debe tener una potencia de generación neta entre 1 Watt y 2.5 Watts, teniendo esto en cuenta y buscando un motor que no sobrepase los \$150.000 COP se adquirió el motor Pololu cuyas características se observan en la Tabla 1.



Figura 18. Motor generador eléctrico POLOLU.

Fuente (Pololu Robotics & Electronics).

Tabla 1. Características generales del motor generador

Categoría	Elemento
Relación de transmisión:	102.08: 1
Velocidad sin carga @ 12V:	100 rpm
Corriente sin carga @ 12V:	0,2 A
Corriente de bloqueo a 12V:	5,5 A
Par de bloqueo a 12V:	34 kg · cm
Potencia de salida máxima a 12V:	8 W

Los valores a máxima eficiencia de conversión entre energía mecánica y eléctrica se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Rendimiento a máxima eficiencia.

Categoría	Elemento
Eficiencia máxima a 12v	44%
Velocidad a máxima eficiencia:	87 rpm
Par a máxima eficiencia:	4,2 kg · cm
Corriente a máxima eficiencia:	0,72 A
Potencia de salida a máxima eficiencia:	3,8 W

Los anteriores datos se pueden observar de forma gráfica en la Figura 19.

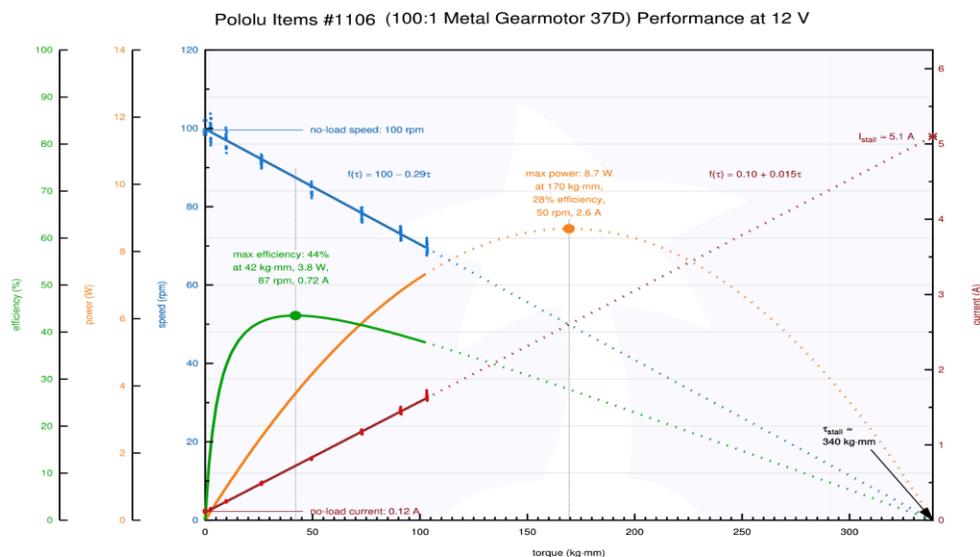


Figura 19. Datos técnicos del motor Pololu 1106.

Fuente (Pololu Robotics & Electronics).

4.1.3.1 Caracterización de motor generador

El motor generador seleccionado viene con un sistema de reducción de velocidad de 5 etapas cuyos factores de reducción son:

$$E1 = \frac{25}{10} = 2.5 \quad E2 = \frac{30}{10} = 3 \quad E3 = \frac{28}{12} = 2.3 \quad E4 = \frac{28}{12} = 2.3$$

$$E5 = \frac{30}{12} = 2.5$$

La relación de transmisión exacta es la multiplicación de las relaciones de transmisión individuales para este caso se obtiene una relación de transmisión de 102:1 es decir que por cada vuelta que gire el eje de salida de la caja de reducción el eje del rotor girara 102 veces. El valor teórico de eficiencia dado por la hoja de características del motor es del 44%, por medio un sistema mecánico para subir peso se procede a comprobar el valor de eficiencia practico, en la Tabla 3 se observan los valores de algunos parámetros necesarios y otros obtenidos por la práctica.

Tabla 3. Caracterización de motor.

Características	Valores		
Masa	4 kg	5 kg	6.5 kg
Tiempo de subida	16.18 s	17.36 s	19.31 s
Distancia (D')	1.2 mts	1.2 mts	1.2 mts
Voltaje	10.8 v	10.5 v	10.3 v
Corriente eléctrica	0.645 A	0.766 A	0.887 A
Potencia eléctrica	6.976 w	8.045 w	9.136 w

Para encontrar el valor de eficiencia en la conversión de potencia eléctrica a potencia mecánica (motor), primero se debe encontrar la potencia mecánica del sistema, para ello se hace uso de la ecuación (31). Remplazando valores se obtiene.

Tabla 4. Valor de eficiencia del motor - generador.

Características		Valores	
Potencia eléctrica	6.976 w	8.045 w	9.136 w
Potencia mecánica	3 w	3.5 w	4.02 w
Valor de eficiencia	43 %	43.5 %	44 %

Es importante aclarar que este valor de eficiencia obtenido se debe netamente a el comportamiento del motor y puede ser fácilmente cambiabile siempre y cuando se cuente con el valor económico por ejemplo; en el mercado existen motores sin escobillas tipo brushless, los cuales su valor de eficiencia reside en que no ocasionan pérdida de calor cuando son utilizados, una de las carencias que presentaban los motores con escobillas que, además de calentarse y perder potencia, necesitaban ser reparados con más frecuencia, En los motores brushless, al no tener pérdida de calor, la potencia de entrada y salida se mantiene constante, lo que se traduce en mayor rendimiento y eficiencia cuando trabajan (Vega, 2019).

Para observar algunos de los valores de eficiencia de motores comerciales se presenta la Figura 20 donde se observan valores de eficiencia que van desde el 70% hasta el 95%.

Eficiencia para motores de 3600 rpm								
Tamaño del motor (Hp)	Porcentaje de carga de los motores							
	ODP (Motor con carcasa de respiraderos abiertos que permiten la refrigeración)				TEFC (Motor con carcasa completamente sellada con ventilación)			
	100%	75%	50%	25%	100%	75%	50%	25%
Eficiencia en porcentaje								
10	88,3%	87,7%	88,4%	79,2%	88,1%	87,2%	85,7%	77,8%
15	87,9%	88,0%	87,3%	82,8%	88,8%	87,8%	85,9%	79,5%
20	89,1%	89,5%	88,7%	85,2%	87,8%	89,6%	88,3%	79,7%
25	89,0%	89,9%	89,1%	84,4%	88,8%	89,6%	87,9%	79,3%
30	89,2%	89,3%	88,3%	84,8%	89,2%	90,0%	88,7%	81,0%
40	90,0%	90,4%	89,9%	86,9%	89,0%	88,4%	86,8%	79,7%
50	90,1%	90,3%	88,7%	85,8%	89,3%	89,2%	87,3%	82,0%
75	90,7%	91,0%	90,1%	85,7%	91,2%	90,5%	88,7%	82,5%
100	91,9%	92,1%	91,5%	89,0%	91,2%	90,4%	89,3%	83,8%
125	91,8%	91,8%	91,1%	88,8%	91,7%	90,8%	89,2%	82,8%
150	92,0%	92,3%	92,0%	89,2%	92,3%	91,7%	90,1%	85,8%
200	93,0%	93,0%	92,1%	87,9%	92,8%	92,2%	90,5%	84,9%
250	92,7%	93,1%	92,4%	87,1%	92,7%	92,5%	91,2%	90,3%
300	93,9%	94,3%	93,8%	90,4%	93,2%	92,8%	91,1%	89,9%

Figura 20. Valores de eficiencia de motores eléctricos

Fuente (Pololu Robotics & Electronics).

4.1.4 Determinar el acople mecánico entre el peso y el motor generador. Para el presente caso de estudio se opta por utilizar un sistema de elevación de tipo polipasto de tambor, la capacidad de un sistema de elevación está limitada en última instancia por la carga que puede soportar el cable. Las partes mecánicas, por ejemplo el tambor, se dimensionan para adaptarse a la carga del cable, tras lo cual las partes eléctricas por ejemplo la máquina, la caja de cambios y la electrónica de potencia, se dimensionan para adaptarse a los requisitos de par y velocidad de las partes mecánicas, este sistema se puede observar en la Figura 21, donde se presenta el modelado del diseño mecánico a utilizar en el que se evidencia el sistema de elevación, el sistema de transmisión y el acondicionamiento de par motor y velocidad.

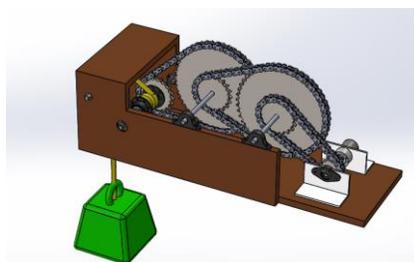


Figura 21. Sistema mecánico modelado en Solid Works.

4.1.4.1 Sistema de elevación de masa por cable.

Dependiendo de las dimensiones y necesidad, un sistema elevador integra los siguientes componentes.

Tambor: Es un cilindro o rodillo giratorio, mediante el cual se enrolla y desenrolla el cable, dependiendo del sentido de las revoluciones del motor, transmitidas mediante acoplamientos. En el tambor debe existir el enrollamiento activo y el de reserva. El primero, es el que trabaja a plena carga es decir en forma de almacenamiento de energía y el segundo es el encargado de la generación de energía.



Figura 22. Tambor (rodillo giratorio).

Sistema de poleas: El sistema de poleas es una parte muy importante en el almacenamiento de energía, ya que puede ser usado de dos formas. una es el tipo de polea simple como se observa en la Figura 23 la cual no produce una ventaja mecánica sino solamente ayuda a desplazar el peso

de forma vertical donde la fuerza ejercida por el cilindro es la misma que ejerce la gravedad y su masa.

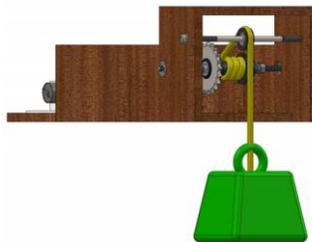


Figura 23. Polea simple o fija.

Por otro lado, existen los polipastos en aparejo factorial los cuales cuentan con un número par de poleas, la mitad son fijas y la otra mitad son móviles, la fuerza que se tiene que emplear depende de cuantas poleas móviles se coloquen, como se describe en la ecuación (2), es importante comprender que aunque la fuerza ejercida para subir el peso se disminuye dividiendo el peso total por el número de poleas, la distancia aumenta multiplicando la distancia inicial por número de poleas. Para el presente caso de estudio la implementación de este sistema puede multiplicar la capacidad de almacenamiento de energía puesto que como se describe en la ecuación (38) esta depende directamente de la distancia útil que existe entre el peso a levantar y el piso. En conclusión, por cada par de poleas implementadas la capacidad de almacenamiento de energía se duplica, puesto que se duplica la distancia útil pero una pequeña desventaja es que por cada par de poleas implementado se debe aumentar en doble la masa para que el sistema no se descompense aumentando también los costos de construcción.

4.1.4.2 Sistema de transmisión

La transmisión de potencia es un sistema que permite conducir potencia de una fuente a otro mecanismo, incrementando, manteniendo o decreciendo la velocidad y el torque (Botha & Kamper, 2019). Para el presente estudio se tuvo en cuenta dos sistemas de transmisión los cuales son sistema de transmisión por cadena y por piñones donde se optó por trabajar con el primero puesto que tiene algunas ventajas con respecto al segundo entre ellas que los sistemas de transmisión por cadenas se pueden obtener rendimientos elevados del orden del 98%, dado que se excluyen problemas de deslizamiento entre los componentes del sistema (Domínguez Soriano & Ferrer Ruiz, 2018). Las cadenas de transmisión son la mejor opción para aplicaciones donde se quiera transmitir grandes pares de fuerza y donde los ejes de transmisión se muevan en un rango de velocidades de giro entre medias y bajas (Domínguez Soriano & Ferrer Ruiz, 2018). Es importante aclarar que,

para aplicaciones a gran escala del proyecto en estudio, no se descarta la implementación de cajas reductoras por piñones, aunque para baja escala aumenta considerablemente el costo y es por eso que se realiza la implementación de un sistema de transmisión por cadena.

Para el diseño del sistema de transmisión se debe tener en cuenta las necesidades de la capacidad de almacenamiento de energía las cuales se observan en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros del sistema de almacenamiento de energía.

Almacenamiento de energía	Masa	Distancia	Eficiencia de generador
8.640 J = 2.4Wh	32 kg	63 m	44%

El sistema de transición basa su diseño en la cantidad de torque requerido para poder cumplir con la capacidad de almacenamiento de energía calculado. El par motor, también conocido como torque, es una magnitud física que mide el momento de fuerza que se ha de aplicar a un eje que gira sobre sí mismo a una determinada velocidad (Nash, 1997).

$$Par = Fd \quad (44)$$

El par motor se define como el producto entre fuerza aplicada por la distancia entre el eje del motor y el punto de fuerza (radio del piñón del motor), el motor Pololu tiene un par de 4.2KgCm como el radio del piñón adaptado a el motor es de 1 Cm como se observa en la Figura 24, despejando la masa de la ecuación (44) se obtiene que el motor puede levantar 4.2Kg.



Figura 24. Acople mecánico del motor.

La masa calculada para el almacenamiento de energía con una eficiencia del 44% sin regulador de voltaje es de 32 Kg, pero teniendo en cuenta que se utilizó reguladores lineales cuya eficiencia ronda el 60% se puede establecer una eficiencia general de generador con regulador de voltaje del 27%. Teniendo en cuenta la Figura 17, donde se observa la cantidad de masa necesaria según el valor de eficiencia se toma un valor aproximado de 55kg y según la ecuación (1) la relación de transmisión es el cociente entre la masa necesaria que debe subir el motor y la masa que puede levantar:

$$i = \frac{F2}{F1} = \frac{55 * 9.8}{4.2 * 9.8} = 13.09 \approx 13$$

Para este caso se diseña una caja de transmisión de 1:13 donde el motor generador obtendría las características que se observan en la Tabla 6, donde el par motor aumenta para cumplir con las necesidades de la capacidad de almacenamiento de energía y la velocidad de rotación del rotor disminuye para mantener la potencia de salida, para el cálculo de la potencia se hace uso de la ecuación (33).

Tabla 6. Características modificadas del motor generador.

Categoría	Motor	Motor + caja reductora
Velocidad a máxima eficiencia:	87 rpm	6,69 rpm
Par a máxima eficiencia:	4,2 kg · cm	55 kg · cm
Potencia de salida a máxima eficiencia:	3,8 W	3,8 W

De acuerdo a los datos mencionados anteriormente se propuso un diseño mediante el software SolidWorks donde se crea la caja reductora cuyo factor de reducción es de 1:13 el cual se diseña en 3 etapas como se observa en la Figura 25.

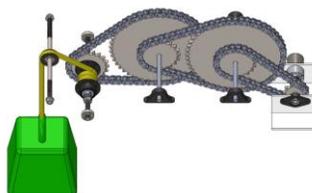


Figura 25. Diseño del sistema mecánico.

4.1.5 Almacenamiento de energía por gravedad a distintas escalas. Para evaluar las características de esta tecnología en aplicaciones del mundo real, se consideraron varios casos de prueba realistas. Los casos de prueba elegidos se definieron por la capacidad de almacenamiento de energía y la potencia requerida. Los casos de prueba examinados se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Consumo de energía eléctrica en casa por día.

Electrodomésticos	Cant.	Potencia (Watt)	Potencia Total (Watt)	Tiempo (hora)	Consumo en Wh	Consumo en joule (J)
Bombillo ahorrador 15 vatios	5	15	75	5	375	1.350.000
Tv LCD	2	100	200	3	600	2.160.000
Computador portátil	2	120	240	3	720	2.592.000
Cargador con celular conectado	3	5	15	1	15	54.000
Nevera	1	180	180	24	4.320	15.552.000
Olla arrocera	1	600	600	0,50	300	1.080.000
Horno microondas	1	1.000	1.000	0,50	500	1.800.000
Licuadaora	1	400	400	0,08	32	115.200
			2.7 kW		6.8 kWh	24.7 MJoule

En la Tabla 8 se muestra un resumen de las especificaciones del sistema para los casos de prueba examinados. A partir de las especificaciones que se muestran, se nota el tamaño físico de los sistemas, para este caso es una proyección del sistema a gran escala, se define un valor de eficiencia de carga y descarga del 80%.

Tabla 8. *Parámetros necesarios a diferentes escalas.*

Parámetros	Carga a celular LG Stylus 3	Consumo energético de vivienda
Capacidad energética	2.4 Wh	7.69 kWh
Capacidad de potencia	1.2 W	2.7 kW
Altura útil	63 m	70 m
Masa suspendida	32 kg	50 (toneladas)
Eficiencia de generador	44 %	80 %

4.2 Diseño del sistema de acondicionamiento y suministro de la energía.

Para el sistema de acondicionamiento y suministro de energía eléctrica se tuvo en cuenta el diagrama de la Figura 26, el cual muestra de forma secuencial las 3 etapas que corresponden a la carga y descarga de la batería las cuales son; control de carga y descarga, adquisición de datos y regulación de voltaje de generador aplicado a un dispositivo portable.

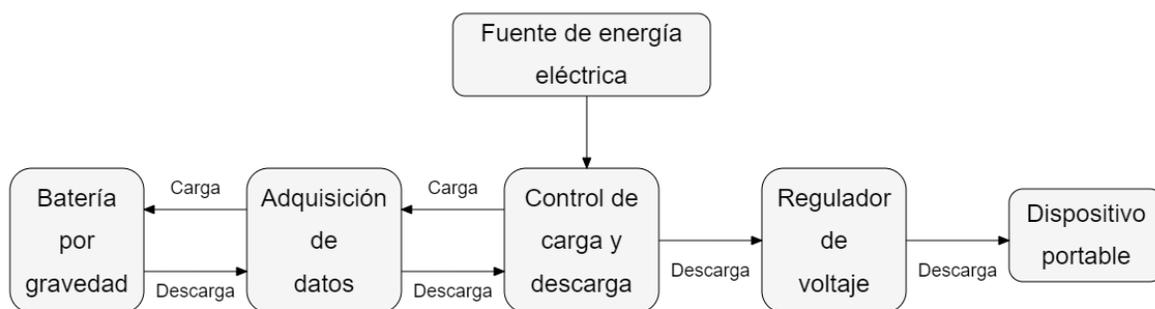


Figura 26. *Diagrama secuencial de carga y descarga de la batería.*

Las 3 etapas se incluyeron en una única placa de circuito impreso donde el control del sistema esta comandado por el microcontrolador ATmega328P de Arduino nano la programación tanto del control como de la adquisición de datos se muestra en el Anexo 6, el circuito esquemático se puede observar en la Figura 27 y la construcción de la placa se detalla en el Anexo 1.1.

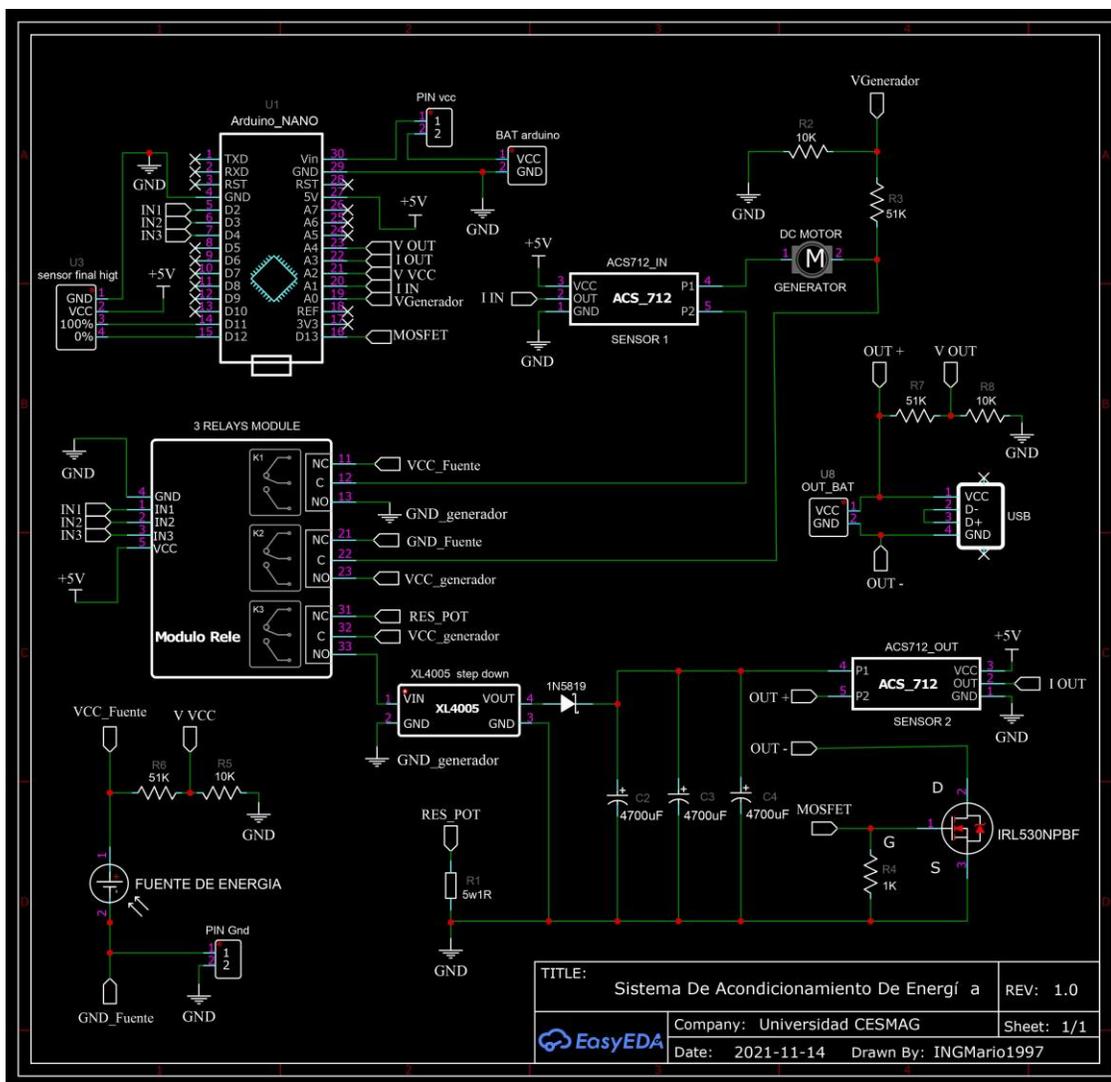


Figura 27. Circuito esquemático con XL4005.

4.2.1 Control de carga y descarga de batería. Para determinar si la batería se encuentra en un estado de carga total o descarga total, se hizo uso de finales de carrera que por medio de Arduino nano y su interfaz de entrada se conectó en sus pines digitales D11 y D12, los cuales dependiendo de su estado controlan la activación o desactivación del módulo relé de 3 canales.

4.2.1.1 Control de inversión de polaridad de voltaje en el cambio de motor a generador

Uno de los temas a tener en cuenta es que el motor se comporta como una bobina o inductor, el cual es un elemento que reacciona contra los cambios en la corriente a través de él, generando un voltaje que se opone al voltaje aplicado; es decir que la polaridad cuando el motor pasa a

convertirse en un generador es inversa como se puede observar en la simulación de Simulink en la Figura 28.

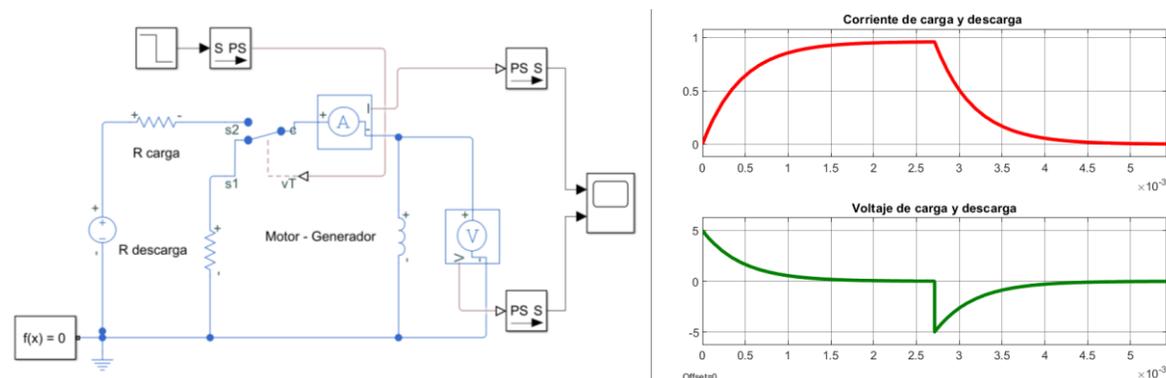


Figura 28. Simulación de motor - generador en Simulink con respecto a el cambio de polaridad de voltaje.

Para no tener problemas de corto circuito en la conmutación de motor a generador es importante darle un trayecto a la corriente, por lo que el relé K2 debe ser el primero en cambiar de estado de NC a NO, con esta acción el inductor del motor – generador se descargara a través de la resistencia de potencia sin ocasionar daños en la placa como se muestra a detalle en la Figura 29.

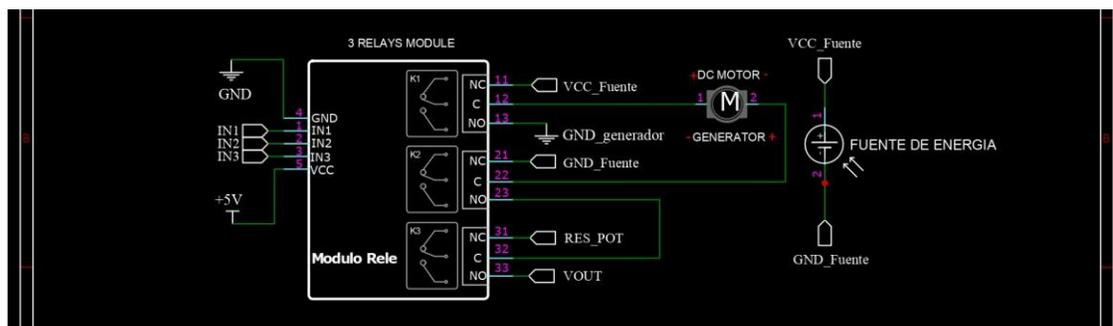


Figura 29. Conmutación de modulo relé para cambio de polaridad de voltaje.

4.2.1.2 Super capacitores como uso alternativo para la densidad de potencia

Otro tema a tener en cuenta es la inercia rotacional la cual es una propiedad de cualquier objeto capaz girar. Este es un valor escalar que indica qué tan difícil es cambiar la velocidad de rotación del objeto alrededor de un eje de rotación determinado (Doñu Ruiz, 2008). Esta inercia rotacional afecta de forma significativa los tiempos de respuesta y la capacidad de potencia de emergencia, la cual está definida como la capacidad de entrega de energía por encima de su potencia nominal durante periodos breves de tiempo (Eyer & Corey, 2011). Para el presente proyecto se tuvo en cuenta el uso de capacitores electrolíticos, que para la implementación a gran escala se debe cambiar por super capacitores puesto que estos demuestran un rendimiento de potencia

excepcional, una excelente reversibilidad y un ciclo de vida muy largo (mayor a 1.000.000 de ciclos), modo de operación simple y facilidad de integración en la electrónica. Además, generan menos calor termoquímico debido a los mecanismos asociados de almacenamiento de carga más simples y lo más importante es que presentan una elevada densidad de potencia (Zhang & Pan, 2014).

La energía expresada en Joule que se puede almacenar en un capacitor está definida por la ecuación (21). La desventaja de los super capacitores es la baja densidad energética, por lo que trabajando en conjunto con un sistema de almacenamiento de energía por gravedad estas se pueden complementar, haciendo que los super capacitores aporten los picos de potencia y la necesidad de una respuesta rápida a cambios bruscos de potencia, los cuales por problemas de inercia rotacional un almacenamiento por gravedad no puede solventar al 100%.

Para el presente proyecto como la demanda de corriente es de 240mA a 5v, haciendo uso de la ley de Ohm se obtiene una resistencia de 21Ω valor con el cual se puede simular la carga conectada a el sistema, para obtener una constante de tiempo τ aproximadamente de 300 ms se hizo uso de 3 capacitores de $4700\mu\text{F}$ en paralelo obteniendo una capacitancia total de $14.100\mu\text{F}$ donde la respuesta de descarga de los capacitores se puede observar en la Figura 30.

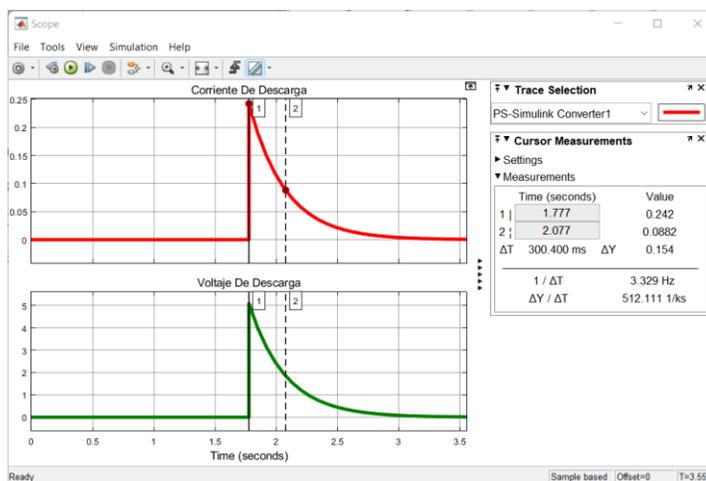


Figura 30. Descarga de capacitores.

Para comprobar la eficacia de la implementación de los condensadores como elementos que ayudan a una respuesta rápida de energía se analizaron 2 escenarios el primero una descarga de la batería por gravedad con capacitores y otra sin ellos como se observa en la Figura 31, donde estos ayudan a que el sistema tenga una respuesta donde el tiempo de establecimiento es menor alcanzando así un estado estacionario mucho más rápido (Figura b).

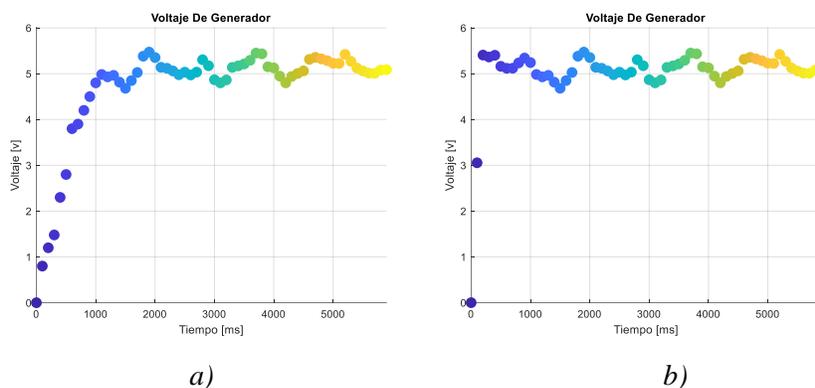


Figura 31. Respuesta de entrega de energía a) sin capacitores y b) con capacitores.

4.2.1.3 Control de descarga de batería para evitar pérdidas de energía en energía cinética

Una batería convencional como por ejemplo las baterías de gel o las baterías AGM, se caracterizan por entregar solamente la corriente que una carga necesita para funcionar y si no existe ninguna carga conectada a sus bornes de salida estas mantienen su densidad de energía con bajas pérdidas de auto descarga.

Lo que sucede con un sistema de almacenamiento de energía a partir de energía potencial gravitacional, es que si no se tiene un consumo de corriente eléctrica cuando la batería este totalmente cargada o un sistema de control de descarga esta perderá toda la energía almacenada en energía cinética. Para dar solución a este problema se incluye una resistencia de potencia conectada al NC del relé K3 como se observa en el circuito esquemático de la Figura 32. Este valor de resistencia es de 1Ω si el voltaje del generador sin regulador es aproximadamente de 7v aplicando ley de Ohm se tiene un consumo de corriente de 7A y por ley de Watt un consumo de potencia de 49 Watts. Teniendo en cuenta que el motor tiene potencia de salida máxima de 8 Watts como se observa en la Tabla 1 y esté como generador es capaz de transformar solo el 44% de esa potencia en potencia eléctrica, se obtiene una potencia de generador máxima de 3.52 Watts. por lo que la potencia exigida por la resistencia es 12 veces mayor de la que el generador puede suministrar frenando así el sistema, no permitiendo que la energía almacenada se pierda en forma de energía cinética al no tener una carga conectada a la salida.

Para la detección de una carga conectada al sistema de almacenamiento se hizo uso del sensor de corriente ACS – 712 como se observa en la Figura 32. Es indispensable que los capacitores se encuentren cargados puesto que estos son los que suministran la corriente necesaria en primera instancia mientras el sistema de almacenamiento llega a su estado estable, para comprobar que los capacitores se encuentran cargados se lee el voltaje de salida por medio de un pin analógico de

Arduino (A4). Si la corriente de salida es menor 50mA y el voltaje de los capacitores es mayor a 4v indica que no hay una carga conectada a la batería por lo que el relé K3 debe mantenerse en NC conectando la resistencia de potencia, si por el contrario la corriente es mayor a 50mA y el voltaje de los capacitores es menor a 4v indica que una carga fue conectada por lo que el relé K3 debe conmutar a NO dando el suministro de energía desde el generador hacia la carga conectada.

La implementación del diodo Schottky 1N5819 es con el fin de que la energía almacenada en los condensadores no se auto descargue en el regulador conmutado XL4005 y se eligió un diodo Schottky por su baja caída de voltaje que este alrededor de los 0.3v.

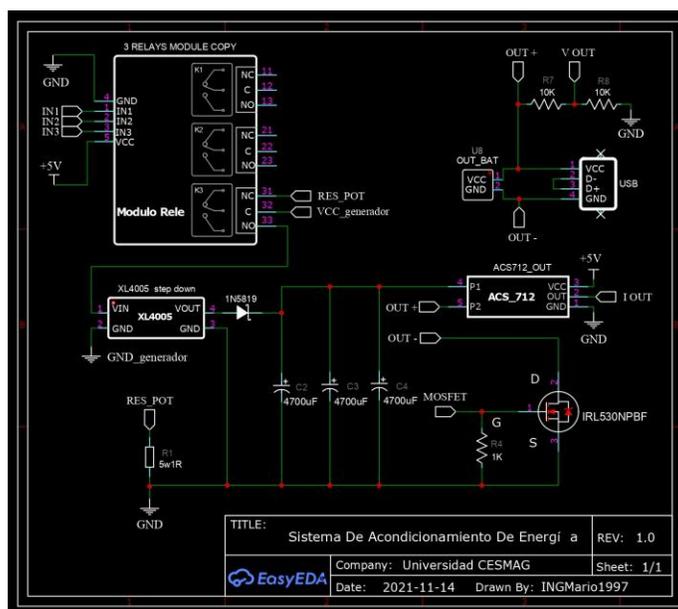


Figura 32. Esquemático control de descarga de batería por gravedad.

4.2.2 Adquisición de datos para análisis de eficiencia. Para la adquisición de datos se hizo uso de la placa de desarrollo de Arduino nano y del software de código abierto Arduino IDE 1.8.19. Para la medición se tiene en cuenta dos momentos; el primero la carga de la batería que es cuando el motor sube la masa ganando así energía potencial gravitacional. Donde los datos a medir son voltaje de alimentación del motor (voltaje de fuente), corriente de consumo de motor (corriente de carga), potencia eléctrica consumida por el motor (potencia de carga) y tiempo de subida o (tiempo de carga). Y el segundo la descarga de la batería que es cuando el motor se convierte en generador transformando la energía potencial gravitacional en energía eléctrica. Donde los datos a tener en cuenta son corriente de descarga, voltaje de generador, potencia de generador y tiempo de descarga. Es de gran importancia evaluar la eficiencia de los reguladores de voltaje y para ello también se toman unos datos adicionales los cuales son corriente de salida de regulador y voltaje de salida

de regulador, ya con estos datos se puede analizar la eficiencia de carga y descarga del sistema de almacenamiento de energía. Es importante mencionar que cada uno de los sensores de corriente fue previamente calibrado y este proceso de calibración se describe en Anexo 2, la programación tanto para el control como para la adquisición de datos se muestra en el Anexo 6. La distribución de pines analógicos de Arduino nano está definida de la siguiente forma.

Tabla 9. Distribución de pines analógicos para adquisición de datos.

Dato a medir	Pines Analógicos
Corriente de carga y descarga (sensor 1)	A1
Corriente de salida (sensor 2)	A3
Voltaje de fuente o de carga	A2
Voltaje de generador o descarga	A0
Voltaje de salida de regulador	A4

Para tener un mejor análisis de los datos leídos por Arduino nano como representación gráfica, modelos matemáticos, análisis estadístico y más, se decidió exportar los datos por medio del puerto serial hacia Matlab, donde cada dato a medir se guarda de forma automática en vectores independientes. la programación para leer y almacenar la información se puede observar a detalle en el Anexo 7. Para el tratamiento de datos con el que se estimó el valor de eficiencia de carga y descarga del sistema de almacenamiento como también las gráficas de corriente voltaje y potencia, valores promedio etc. se hizo uso de una programación en Matlab denominada tratamiento de datos (Anexo 8). Teniendo en cuenta que la energía eléctrica y mecánica se denomina como la integral de la potencia con respecto a el tiempo, se hizo uso de una función de Matlab llamada (trapz (X, Y)) la cual calcula la integral aproximada de (Y) con respecto a (X) atreves del método trapezoidal donde (X) es el vector de tiempo y (Y) es el vector de potencia.

4.2.3 Reguladores de voltaje. Para el presente proyecto como su validación es a través de la carga a dispositivos portables, se hace uso de dos reguladores de voltaje. El primero es el integrado LM7805 especificado como un regulador de 5V a 1.5A y el segundo un convertidor DC-DC conmutado. Se analiza la incidencia de la implementación de cada uno de los dos reguladores con respecto a la eficiencia de carga y descarga.

Los reguladores lineales tienen un valor de eficiencia teórico que ronda entre 30% hasta el 70% (Ang et al., 2010), el principal problema de estos reguladores tanto discretos como integrados,

es que al estar en serie con la carga, las caídas de tensión en sus componentes provocan grandes disipaciones de potencia ecuación (3), lo que ocurre en menor medida con los convertidores conmutados. Como el valor de eficiencia teórico tiene un rango muy amplio, se procedió a medir un valor de eficiencia práctico como se describe en el Anexo 3, donde para una potencia de salida de 1.2 Watts se encontró un valor de eficiencia del 61.11%. si el valor de potencia de salida aumenta, el valor de eficiencia de este regulador disminuirá teniendo en cuenta la ecuación (3).

Por otra parte, el convertidor de voltaje DC-DC reductor el cual es un tipo de convertidor de potencia que transforma corriente continua de un nivel de tensión a otro. Tiene ciertas ventajas con respecto al convertidor lineal, una de ellas es que su eficiencia teórica es superior al 90% (Ang et al., 2010). lo que significa a grandes rasgos que, si se requiere una fuente de gran potencia, el calor disipado por la fuente conmutada es mucho menor que la que disiparía una fuente lineal de características semejantes. Es por ello, por lo que a pesar de que su coste es mayor, así como el número de componentes pasivos requeridos, son más recomendables para usos con potencias considerables (Ang et al., 2010). El valor de eficiencia que se encontró de forma práctica para el regulador conmutado a una potencia de salida de 2 Watts aproximadamente fue de 92.47% como se describe en el Anexo 3.

4.2.3.1 Incidencia del regulador de voltaje en los parámetros del sistema

La capacidad del almacenamiento de energía se definió como la cantidad de energía eléctrica aprovechable después de la conversión de energía mecánica a energía eléctrica ecuación (38). Como se mencionó anteriormente si el valor de eficiencia disminuye la masa debe aumentar y viceversa, la implementación del regulador de voltaje hace disminuir el valor de eficiencia por lo que es necesario replantear los parámetros del sistema de almacenamiento. En la siguiente tabla se observa cómo debe cambiar la cantidad de masa según el regulador de voltaje implementado para mantener la capacidad de energía de 8640 J.

Tabla 10. Parámetros del sistema según eficiencia de regulador.

	Generador sin regulador	Generador con XL 4005	Generador con LM7805
Eficiencia de descarga	44 %	$44 * \frac{92.47}{100} = \mathbf{40.68 \%}$	$44 * \frac{61.11}{100} = \mathbf{26.88 \%}$
Distancia útil	63 m	63 m	63 m
Masa	31.8 kg	34.40 kg	52 kg

4.3 Validación del sistema con prototipo de carga a dispositivos portables.

Después de analizar de forma detallada los datos obtenidos de los dos anteriores objetivos se procedió a la construcción del prototipo para validar el sistema, se realizó el diseño en el programa de SOLIDWORKS como se observa en la Figura 33 y gracias a la impresión 3D se fabricaron algunas piezas claves para el prototipo, la construcción se documenta de forma detallada en el Anexo 1.

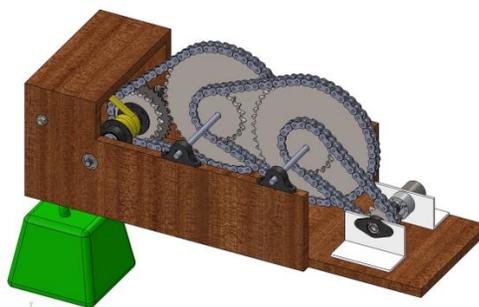


Figura 33. Diseño del prototipo en solidWORKS.

4.3.1 Costos para la construcción del prototipo. Los costes de implementación se muestran en la Tabla 11 donde se describe los diferentes sistemas que hacen parte del prototipo.

Tabla 11. Costes de implementación.

Detalle	Valor (pesos)
Motor generador	\$80.000
Sistema de acondicionamiento de energía	\$60.000
Sistema De Transmisión mecánica	\$200.000
Sistema De Elevación De Masa Por Cable	\$100.000
Estructura	\$100.000
Total	\$540.000

4.3.2 Implementación del prototipo para la validación de los sistemas. El prototipo de almacenamiento de energía consta de 3 sistemas principales los cuales son; sistema de acondicionamiento de energía, sistema de transmisión mecánica y sistema de elevación de masa por cable. Después de realizar el diseño y la adquisición de todas las partes se presenta la propuesta final de prototipo de almacenamiento de energía el cual se observa en la Figura 34 y su construcción se describe en el Anexo 1.

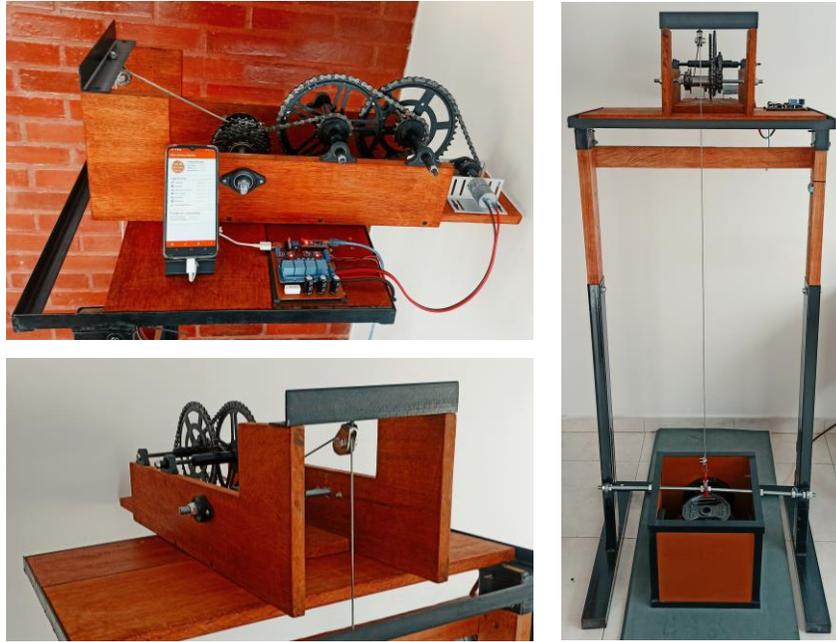


Figura 34. Sistema de almacenamiento de energía por gravedad.

4.4 Pruebas del prototipo.

Con las pruebas del prototipo se pretende comprobar los siguientes datos:

- la capacidad de almacenamiento de energía corresponda con la ecuación general (38).
- Los datos de voltaje, corriente y potencia de salida correspondan con los calculados en el sistema para brindar carga a dispositivos portables.
- Rectificar los valores de eficiencia de motor, generador y reguladores de voltaje.
- Encontrar de forma práctica la eficiencia del sistema de almacenamiento de energía (eficiencia de carga y descarga).

Para ello se realizaron pruebas en dos escenarios diferentes; el primero haciendo uso de una estructura metálica donde la distancia útil es de 1 metro y el segundo en una construcción de 3 pisos donde la distancia útil fue de 8 metros.

4.4.1 Pruebas para una distancia útil de 1 metro. Inicialmente se debe tener en cuenta que la potencia de salida debe ser mínimo de 1.2 Watts aproximadamente. A partir de la ecuación (38) se calcula la capacidad de almacenamiento de energía teórica según los valores de eficiencia de los reguladores y el motor generador como se observa en la Tabla 12.

Tabla 12. Datos de entrada y salida teóricos para una D' de 1 metro.

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	Generador sin regulador	Generador con XL 4005	Generador con LM7805
Eficiencia de descarga teórica	44 %	$44 * \frac{92.47}{100} = 40.68 \%$	$44 * \frac{61.11}{100} = 26.88 \%$
Distancia útil	1 m	1 m	1 m
Masa	52 kg	52 kg	52 kg
Potencia mecánica	5 Watts	5 Watts	5 Watts
Capacidad de almacenamiento	$224.22 J = 0.062 Wh$	$207.30 J = 0.057 Wh$	$136.98 J = 0.038 Wh$
Capacidad de potencia de salida	2.2 Watts	2.0 Watts	1.3 Watts



Figura 35. Escenario 1 distancia útil de 1 metro, masa 52 Kg.

Teniendo en cuenta el valor de eficiencia de descarga (que es la eficiencia teórica del generador multiplicada por la eficiencia teórica del regulador de voltaje) y la eficiencia teórica del motor se puede estimar la eficiencia de carga y descarga del sistema de almacenamiento de energía eléctrica a partir de energía potencial gravitacional como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Eficiencia de carga y descarga teórica.

	Prueba No. 1	Prueba No. 2	Prueba No. 3
	Generador sin regulador	Generador con XL 4005	Generador con LM7805
Eficiencia de descarga teórica	44 %	$44 * \frac{92.47}{100} = 40.68 \%$	$44 * \frac{61.11}{100} = 26.88 \%$
Eficiencia de carga y descarga	$44 * \frac{44}{100} = 19.3 \%$	$44 * \frac{40.68}{100} = 17.8 \%$	$44 * \frac{26.88}{100} = 11.8 \%$

4.4.1.1 Prueba No. 1 Generador sin regulador de voltaje

En la Figura 36 se observa la potencia de carga consumida por el motor y los datos de descarga generados.

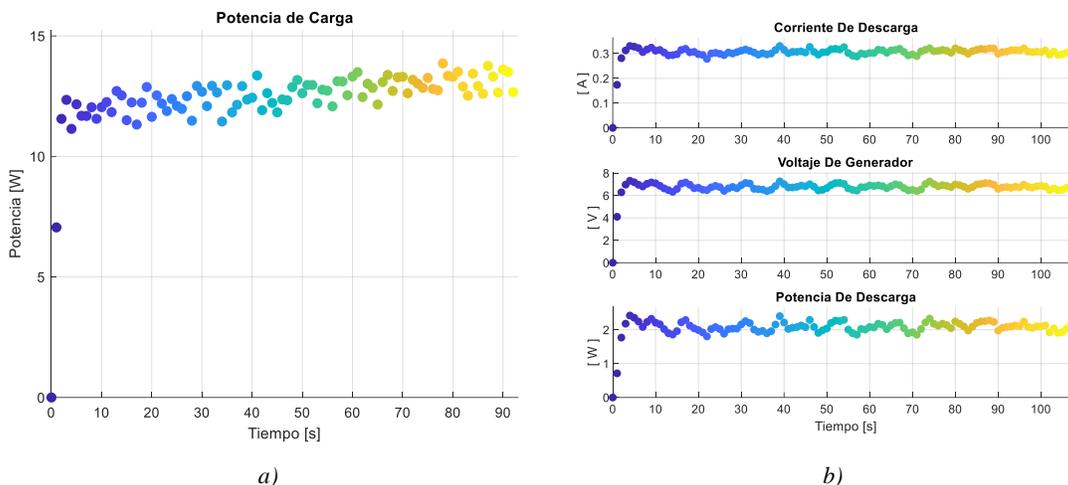


Figura 36. Prueba 1 datos de (a) carga y (b) descarga.

Con ayuda de la programación de tratamiento de datos de Matlab Anexo 8 se encuentran los resultados correspondientes a la prueba No 1, los cuales se muestran en la Figura 37.

```

Command Window
Energia de carga           = 1145.68[J] = 0.3182[Wh]
Energia de descarga       = 223.61[J] = 0.0621[Wh]
Eficiencia Motor          = 44.91%
Eficiencia Generador      = 43.46%
Eficiencia Bat sin regulador = 19.52%

Datos de salida promedio de generador
Voltaje promedio         = 6.702[V]
Corriente promedio       = 0.304[A]
Potencia promedio        = 2.061[W]
fx >>
  
```

Figura 37. Resultados de salida sin regulador de voltaje, prueba No 1.

Los resultados obtenidos de forma práctica (Figura 37), corresponden a los encontrados de forma teórica (Tabla 12 y Tabla 13). Es importante aclarar que en la presente prueba como no se hace uso de un regulador de voltaje a la salida, se colocó una resistencia de potencia de 22Ω como elemento consumidor de energía, en vez del dispositivo portable (smartphone).

4.4.1.2 Prueba No. 2 Generador con regulador conmutado XL 4005

En la Figura 38 se observa la potencia de carga consumida por el motor y los datos de descarga generados en la prueba No 2.

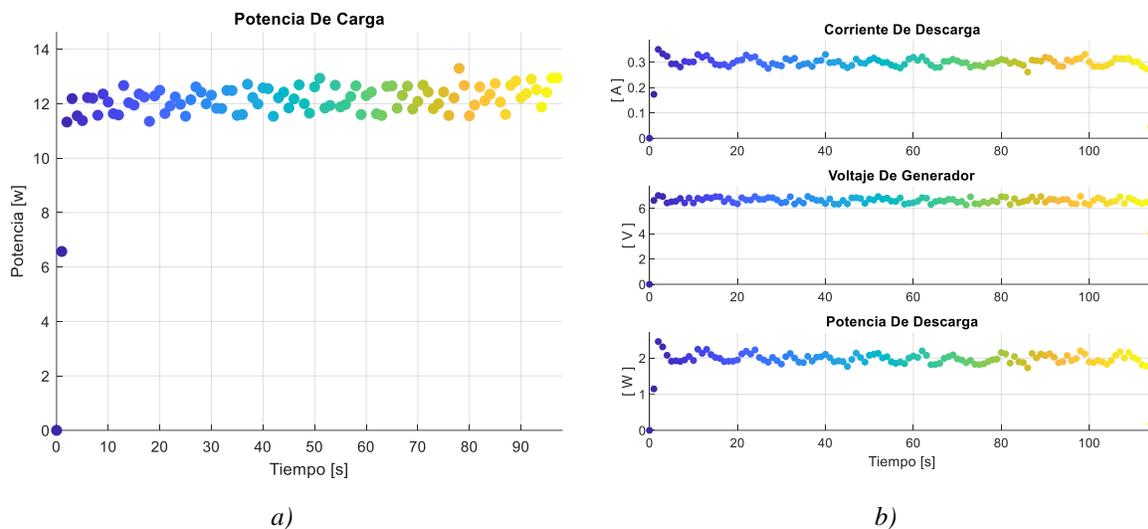


Figura 38. Prueba 2 datos de (a) carga y (b) descarga.

Para este caso se analizan los datos tanto de salida del generador como de salida del regulador conmutado como se observa en la Figura 39.

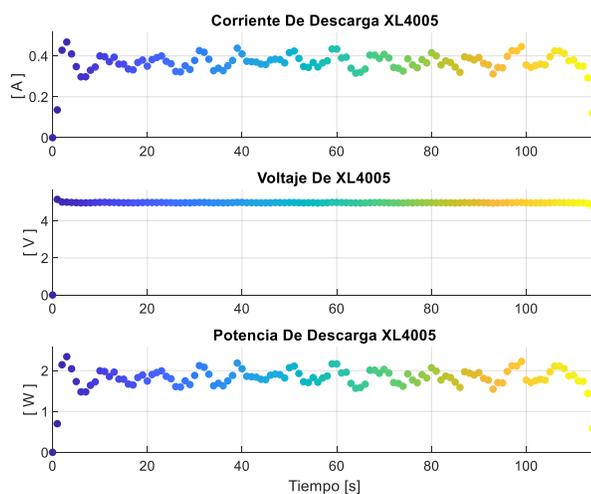


Figura 39. Datos de salida del regulador de voltaje conmutado XL4005.

Los resultados de la prueba No. 2 se observan en la Figura 40, donde la eficiencia de ida y vuelta del sistema de almacenamiento sin regulador de voltaje es del 19.20% y con regulador la eficiencia baja al 17.80%.

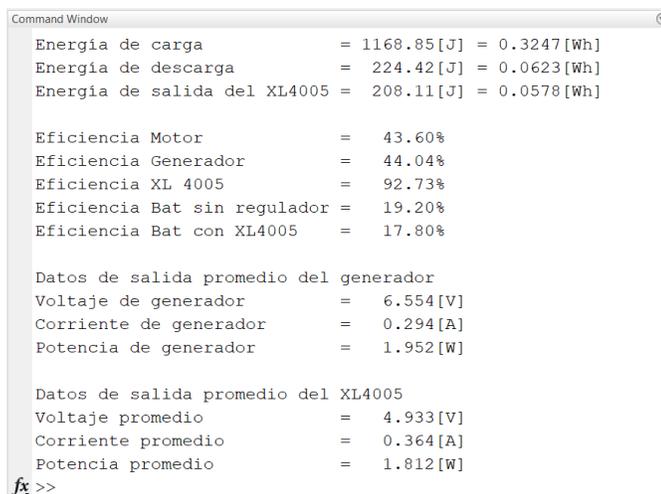


Figura 40. Resultados de salida con regulador conmutado XL4005, prueba No 2.

4.4.1.3 Prueba No. 3 Generador con regulador lineal LM7805

Al igual que en las anteriores dos pruebas la potencia de carga es la misma puesto que la masa no varía, es por eso que solo se analiza los datos de descarga con respecto a los datos de salida del regulador lineal como se observa en la Figura 41.

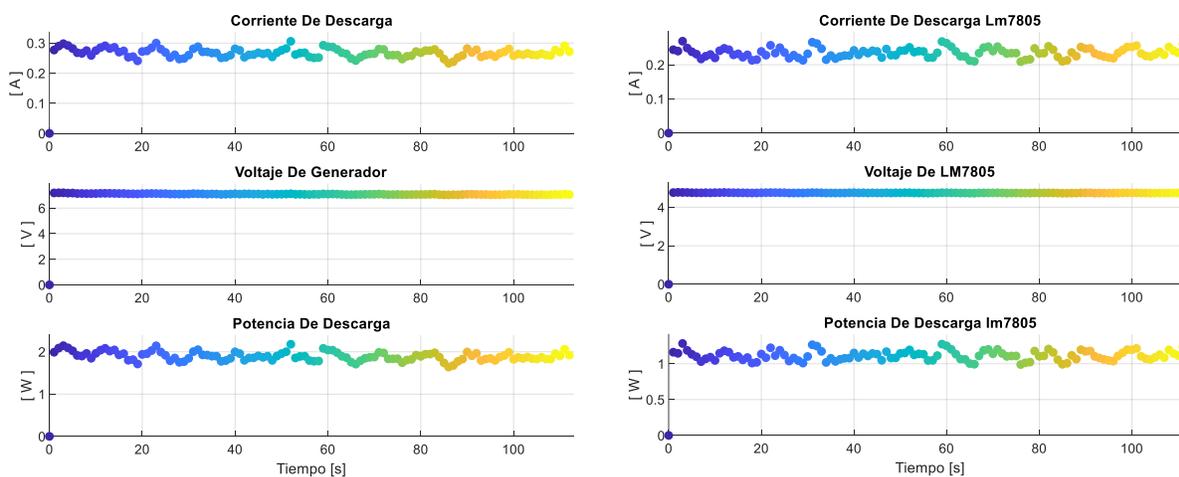


Figura 41. Datos de salida del regulador lineal de voltaje LM7805.

Con la implementación del regulador de voltaje lineal se observa una salida de voltaje más estable, pero el valor de eficiencia energética de este regulador es muy bajo perdiendo casi un 40% de energía en forma de calor. Entendiendo que es de gran importancia el valor de eficiencia de carga y descarga de la batería por gravedad, se hace indispensable la implementación de un regulador conmutado.

```

Command Window
Energia de carga           = 1164.46[J] = 0.3235[Wh]
Energia de descarga       = 211.51[J] = 0.0588[Wh]
Energia de LM7805         = 124.30[J] = 0.0345[Wh]

Eficiencia Motor          = 43.76%
Eficiencia Generador      = 41.50%
Eficiencia LM7805        = 58.77%

Eficiencia Bat sin regulador = 18.16%
Eficiencia Bat LM7805    = 10.67%

Datos de salida promedio del generador
Voltaje de generador      = 7.026[V]
Corriente de generador    = 0.265[A]
Potencia de generador     = 1.880[W]

Datos de salida promedio del XL4005
Voltaje promedio         = 4.703[V]
Corriente promedio      = 0.233[A]
Potencia promedio       = 1.105[W]
fx >>

```

Figura 42. Resultados de salida con regulador lineal, prueba No 3.

4.4.2 Pruebas para una distancia útil de 8 metros. La prueba de validación del prototipo final se realizó en una construcción de 3 pisos donde la distancia útil alcanzada fue de 8 metros lineales como se muestran en la Figura 43.

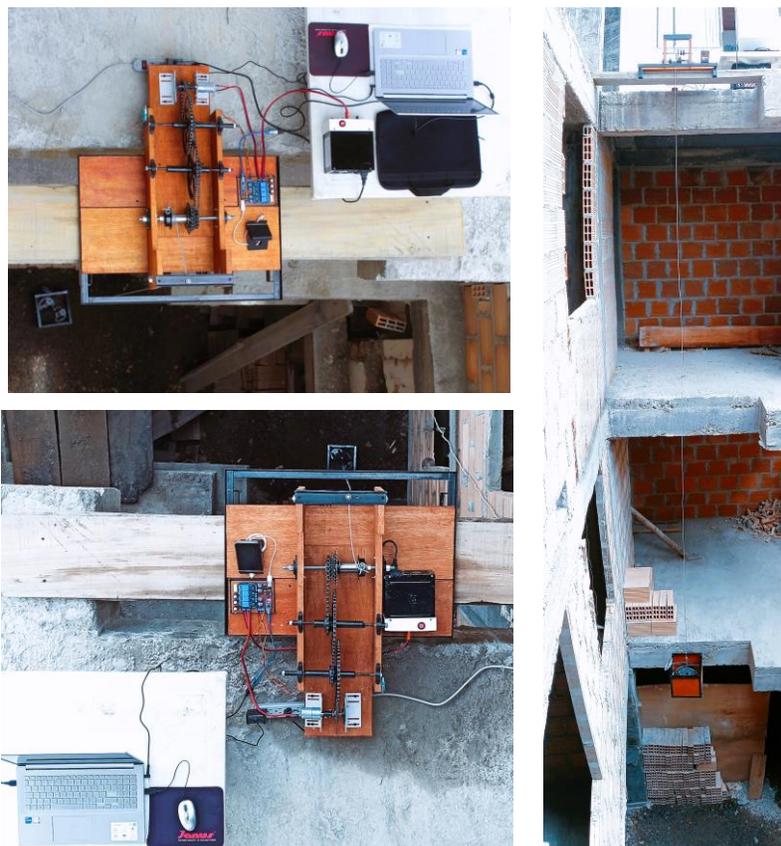


Figura 43. Escenario 2. validación del prototipo con una D' de 8 metros.

A partir de los datos de masa y distancia útil se calcula de forma teórica la capacidad de almacenamiento de energía y los valores de eficiencia, los cuales se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Datos de entrada y salida teóricos para una D' de 8 metros.

Datos	Prueba 4
	Generador con XL 4005
Distancia útil	8 m
Masa	52 kg
Potencia mecánica	5 Watts
Capacidad de almacenamiento	$1658 J = 0.460 Wh$
Capacidad de potencia de salida	2.0 Watts
Eficiencia de descarga teórica	$44 * \frac{92.47}{100} = 40.68 \%$
Eficiencia de carga y descarga sin regulador	$44 * \frac{40.68}{100} = 17.82 \%$
Eficiencia de carga y descarga con regulador XL4005	$44 * \frac{40.68}{100} * \frac{92.47}{100} = 16.55 \%$

A continuación, se muestran los datos obtenidos por un ciclo de carga y descarga del sistema de almacenamiento de energía por gravedad.

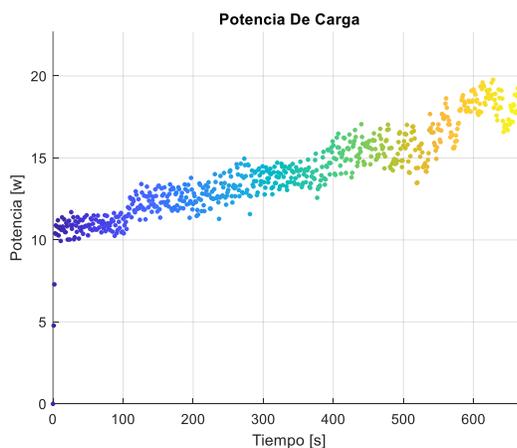


Figura 44. Ciclo de carga de batería para una D' de 8 metros.

En primera instancia se comprobó que el sistema es capaz de dar carga a dispositivos portables, puesto que cumple con los valores de voltaje y corriente necesarios. El tiempo de carga mostrado en las gráficas fue de 675 segundos que equivalen a 11.25 minutos de carga y el tiempo de

descarga fue de 672 segundos que equivalen a 11.2 minutos. Los resultados prácticos de eficiencia como de almacenamiento de energía se muestran en la Figura 46.

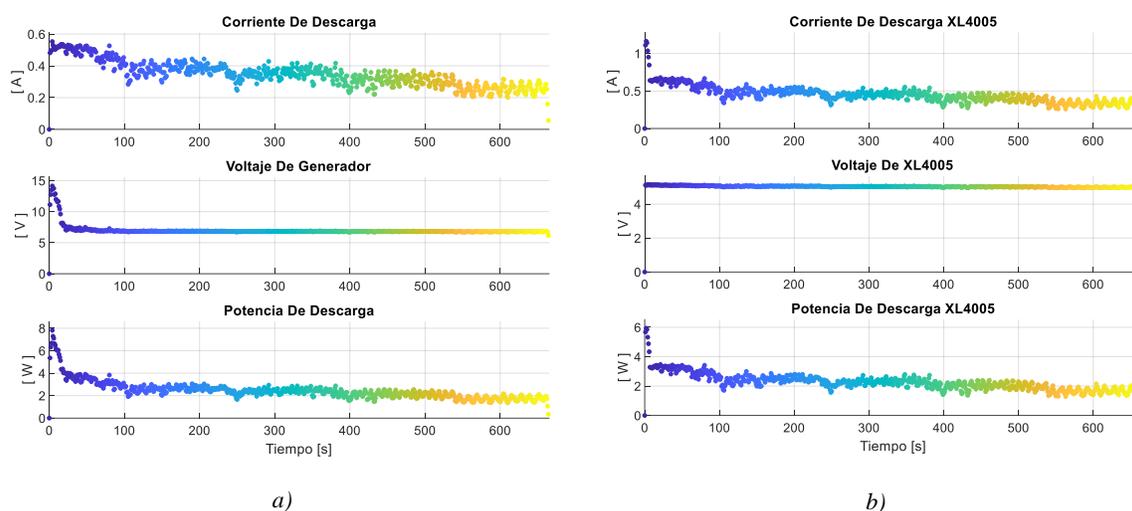


Figura 45. Ciclo de descarga de batería, a) sin regulador y b) con regulador XL4005.

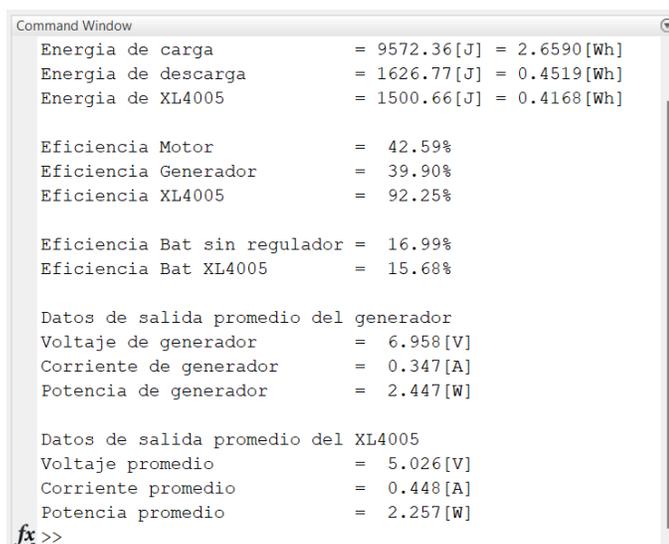


Figura 46. Resultados de salida ciclo de carga y descarga, prueba No 4.

Con los datos de la prueba No. 4 se obtiene un valor de eficiencia de carga y descarga sin regulador del 17%, donde datos como la eficiencia de generador se vieron notablemente reducidos puesto que se tenía una expectativa de eficiencia del 44% y se obtuvo 39.9%, esto se debe a que la guaya encargada de levantar el peso no se enrosca de forma perfecta en el tambor haciendo frenar el sistema en el momento de la descarga. La capacidad de almacenamiento de energía calculada de forma teórica en la Tabla 14 fue de 1658 J y la energía de descarga medida de forma

práctica fue de 1622.77 J con lo que se comprueba que la capacidad de almacenamiento de energía si corresponde a la ecuación (38).

4.4.3 Validación de eficiencia con motor generador de imanes permanentes. Para validar que la eficiencia del sistema de almacenamiento de energía depende en gran parte del motor generador, se utilizó un motor de mayor eficiencia. las características principales del motor se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Características de motor MY1016.

Categoría	Elemento
Eficiencia máxima a 12v	76%
Velocidad en RPM:	1200
Par motor:	1.6 kg. cm
Corriente con baja carga:	2.2 A
Potencia de salida:	20 W



Figura 47. Motor generador eléctrico MY1016.

Como en este caso solo se pretende validar el valor de eficiencia, basta con realizar la prueba en el primer escenario el cual tiene una distancia útil D' de 1 metro. Por otro lado la estructura del sistema solo está diseñada para portar máximo 100N/m que es la carga máxima de la madera con 2 cm de espesor (Nájera et al., 2005) por lo que se usó una masa de 63 kg, haciendo uso de la ecuación (43) la máxima capacidad de almacenamiento de energía teniendo en cuenta un valor de eficiencia de descarga del 76% sin regulador es de 470J. El par del motor es 1.6 kg por centímetro, pero como el radio del piñón del motor es de 2 cm, este solo puede levantar 0.8 kg por sí solo, para ello se implementa la caja reductora diseñada la cual tiene una relación de transmisión máxima de 19.6 :1. Los resultados se observan en la Tabla 16.

Tabla 16. Motor MY1006 con caja reductora.

Categoría	Sin caja reductora	Con reducción 19.6: 1
Velocidad en RPM:	1200 rpm	61.22 rpm
Par motor:	1.6 kg. cm	31.36 kg. cm
Potencia de salida:	20 W	20 W

Con la caja reductora el par motor aumento a 31.36 kg por centímetro es decir el motor puede subir 15.68 kg. Por lo que para aumentar el par del motor se hace uso del sistema de poleas en el que se colocó 5 poleas en total, 3 de ellas fijas y 2 móviles, siguiendo la ecuación (2) se obtiene una ventaja mecánica multiplicada por 4 donde los resultados se observan en la Tabla 17.

Tabla 17. Motor MY1016 con caja reductora y sistema de poleas.

Categoría	Sin caja reductora	Con reducción 19.6: 1	Con el sistema De poleas
Velocidad en RPM:	1200 rpm	61.22 rpm	15.30 rpm
Par motor:	1.6 kg. cm	31.36 kg. cm	125 kg. cm
Potencia de salida:	20 W	20 W	20 W

Donde esta vez, el par motor es de 125 kg por centímetro es decir que para un radio del piñón que es de 2 cm el motor debería poder levantar sin problema 62.5 kg.



Figura 48. Batería por gravedad con motor generador MY1016 y sistema de poleas.

La potencia de carga se muestra en la Figura 49 y los valores de descarga en la Figura 50.

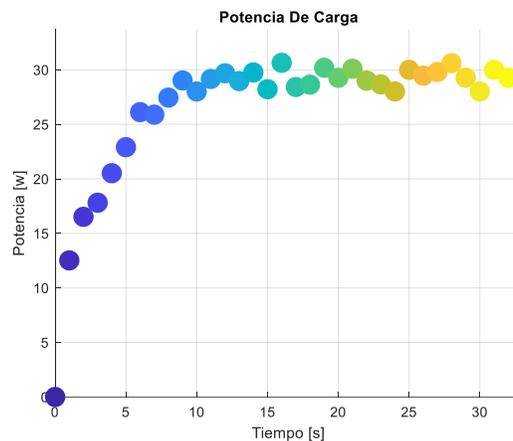


Figura 49. Potencia de carga con motor MY1016.

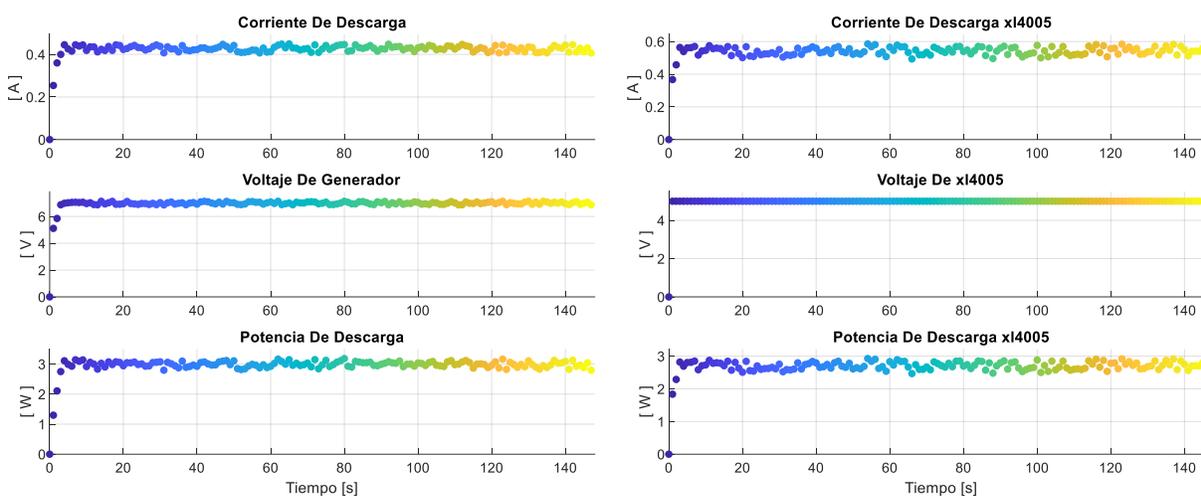


Figura 50. Datos de descarga de batería con motor MY1016.

Según especificaciones del motor, este debería alcanzar una eficiencia del 76%, pero en la práctica se encontró un valor de eficiencia del 72% y como generador del 70.67 %, estas inconsistencias entre los valores teóricos y prácticos pueden deberse al sistema de poleas implementado. Pero sin duda es notorio el aumento de eficiencia del sistema de almacenamiento por gravedad en comparación con el motor Pololu anteriormente implementado, alcanzando un 50.9% de eficiencia sin regulador de voltaje y un 46.17% con el convertidor de voltaje conmutado.

```
Command Window
Energía de carga           = 857.30[J] = 0.2381[Wh]
Energía de descarga       = 436.33[J] = 0.1212[Wh]
Energía de salida del xl4005 = 395.83[J] = 0.1100[Wh]

Eficiencia Motor          = 72.02%
Eficiencia Generador      = 70.67%
Eficiencia XL 4005       = 90.72%
Eficiencia Bat sin regulador = 50.90%
Eficiencia Bat con xl4005 = 46.17%

Datos de salida promedio del generador
Voltaje de generador      = 6.932[V]
Corriente de generador    = 0.423[A]
Potencia de generador     = 2.958[W]

Datos de salida promedio del xl4005
Voltaje promedio         = 4.966[V]
Corriente promedio       = 0.537[A]
Potencia promedio        = 2.684[W]
fx >>
```

Figura 51. Resultados de salida en un ciclo de carga y descarga de batería con motor MY1016.

5. Análisis de resultados

Los resultados del presente proyecto demostraron que la capacidad de almacenamiento de energía corresponde con la ecuación general (38) descrita en el capítulo anterior, se demostró también que esta tecnología puede trabajar de la mano con super capacitores teniendo en cuenta que un sistema de almacenamiento por gravedad al usar un generador eléctrico rotativo, la inercia rotacional del eje del motor generador afecta de forma significativa los tiempos de respuesta y la capacidad de potencia de emergencia. por lo que trabajando en conjunto con la tecnología de los super capacitores estos sistemas se pueden complementar, haciendo que los super capacitores aporten los picos de potencia y la necesidad de una respuesta rápida a cambios bruscos de potencia, los cuales por problemas de inercia rotacional un almacenamiento de energía por gravedad no puede solventar a el 100% esto se puede demostrar gráficamente en la Figura 31.

La implementación del control de descarga para evitar pérdidas de energía en energía cinética, le dio un plus a el sistema de almacenamiento por gravedad, puesto que reduce a cero las pérdidas por auto descarga, problema el cual las baterías convencionales como las de ácido plomo o las de gel no han podido solventar al 100%. Puesto que estas sufren auto descargas que están alrededor del 6 al 10% mensual dependiendo de la tecnología y tiende a ocurrir más rápidamente a temperaturas elevadas. Por lo que la auto descarga de las baterías convencionales disminuye considerablemente su vida útil.

Un dato a tener en cuenta es la comparación de este sistema de almacenamiento de energía en términos de densidad energética, con una batería comercial y altamente usada en instalaciones fotovoltaicas como lo es la batería de GEL Anexo 15. Si se toma un valor de capacidad de 200Ah y teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante el cual expresa que para mayor vida útil la batería solo debe tener ciclos de descarga máximo hasta el 60%, por lo que en realidad se usaría solo el 40% de su carga total que equivale a 80Ah, que en términos de energía son 960Wh teniendo en cuenta que la batería funciona a 12v. Para poder realizar el cálculo correspondiente con los valores de masa y distancia útil necesarios se convierte ese valor de energía a el sistema internacional de medidas lo que equivale a 3.4MJ, si se tuviera una distancia útil (D') de 70 metros y haciendo uso de la ecuación (43) la masa necesaria para igualar la densidad energética de la batería de GEL seria de 5162 kg o 5.1 toneladas por lo que, si bien es cierto el sistema de almacenamiento de energía por gravedad tiene grandes ventajas como alta densidad de potencia, una vida útil más larga, es amigable con el medio ambiente por lo que no hace uso de elementos químicos ni necesita

de extracciones mineras, como si lo necesita el litio que no es un material abundante y que además su extracción es más económica que su reciclaje, hace que este sistema de almacenamiento de energía por gravedad sea tenido en cuenta, pero la densidad de energía sin duda es un punto no favorable donde para aumentar su capacidad de almacenamiento los valores de masa o de distancia útil deben aumentar de forma significativa aumentando así los costos de implementación.

Uno de temas en el cual se centraba la presente investigación era el análisis de eficiencia del sistema de almacenamiento, el cual con un motor cuya eficiencia es del 44% se obtuvo una eficiencia de carga y descarga entre el 17 y el 19% este valor puede ser relativamente bajo, pero como se dijo con anterioridad, la eficiencia del sistema de almacenamiento de energía por gravedad depende netamente de la eficiencia del motor generador a usar. Es por eso, que como validación a esa afirmación se utilizó un motor cepillado de imanes permanentes de referencia MY1016 (Anexo 11) cuya eficiencia teórica a 12v es del 76%, alcanzando una eficiencia de carga y descarga de la batería por gravedad entre el 47 y el 51%.

Conclusiones

Con la finalización exitosa de un sistema de almacenamiento y suministro de energía eléctrica mediante el uso de energía potencial gravitacional utilizando peso suspendido, con el cual se pretende evaluar la eficiencia de esta tecnología se concluyó, que el valor de eficiencia en gran parte depende del motor generador empleado, siendo las tecnologías de motores con imanes permanentes cuya eficiencia nominal ronda el 80% y los motores síncronos de reluctancia asistidos por imanes permanentes (PMA- SynRM) con una eficiencia nominal entre el 92% y el 96% (Rafael et al., 2018) pueden ser las mejores opciones para una implementación a gran escala. Puesto que estos dos tipos de motores pueden comportarse con facilidad como generadores. Donde la eficiencia del sistema de almacenamiento de energía por gravedad alcanzaría un valor entre el 85% al 90% sin la implementación de un regulador de voltaje a la salida del generador y sin tomar en cuenta pérdidas por fricción. Por lo que en términos de eficiencia son altamente competitivas con las baterías de plomo ácido donde su eficiencia ronda del 70% a 80% o las baterías de gel y AGM que rondan entre el 80% y el 95% de eficiencia (*Carga de Las Baterías / Mastervolt*, n.d.).

Otro factor a tener en cuenta son los ciclos de vida útil puesto que al tratarse de un sistema mecánico este no se degrada con cada ciclo de carga y descarga lo que si ocurre con las baterías convencionales, por ejemplo, en el Anexo 15 se muestra la ficha técnica de una batería del gel donde sus ciclos de vida útil a una descarga del 60% ronda los 1200 ciclos, lo que traducido en tiempo si se usa los 365 días del año, equivaldría a una vida útil de 3.3 años y si la descarga de la batería está por debajo del 50% sus ciclos de vida disminuyen a 800 ciclos, que equivalen a 2 años aproximadamente. Punto a favor para sistema de almacenamiento de energía por gravedad donde sus ciclos de descarga pueden ser del 100%, y donde el corazón de este sistema que es el motor generador, tiene una expectativa de vida útil de 20 años aproximadamente siempre y cuando se cumpla con los mantenimientos preventivos que los motores eléctricos necesitan.

El principal problema del sistema de almacenamiento por gravedad radica en una su baja densidad energética o más exactamente que para alcanzar una densidad de energía considerable, tanto la masa como la distancia útil necesaria deben ser extremadamente grandes, ya que el sistema se relaciona con los principios básicos de la física con los que se rige la energía potencial gravitacional. Por lo tanto, ningún avance tecnológico puede aumentar la capacidad de almacenamiento

de energía, La investigación y el desarrollo pueden mejorar la eficiencia de ida y vuelta de los sistemas. Sin embargo, esto no reduciría el tamaño de los sistemas lo suficiente como para hacerlos fácilmente implementables, esto hace que este sistema de almacenamiento de energía por gravedad sea más adecuado para aplicaciones de alta densidad potencia y de respuesta rápida.

Trabajos Futuros

Al ser este tipo de almacenamiento de energía una tecnología en desarrollo existe muchos sistemas a implementar los cuales pueden impactar de forma positiva la presente investigación. El primero es la implementación de un circuito de control puede ser tipo PID, con el cual por medio de la retroalimentación mida constantemente el valor de la carga conectada a el generador y permita regular la velocidad de caída de la masa o la velocidad de rotación del generador. Con ello, lograr que la batería por gravedad solo entregue el valor de potencia que la carga conectada necesite, con el fin de evitar pérdidas en energía cinética.

También es importante que la batería pueda trabajar en rangos de voltaje más altos, por lo que se hace necesario la implementación de convertidores de voltaje elevadores o de tipo BOOST, con el fin de alcanzar valores de 24v, 36v y 48v que son los voltajes a corriente continua con los que trabajan los inversores comerciales, para que la batería sea fácilmente implementable en sistemas fotovoltaicos.

Otro mecanismo que se tuvo en cuenta en el presente proyecto y que su implementación a futuro puede representar un aumento en la eficiencia del sistema o en el aumento de almacenamiento de energía eléctrica, es la implementación de un volante de inercia. este sistema en conjunto con el almacenamiento por gravedad estudiado en el presente documento puede complementarse, por ejemplo, en un momento de una alta demanda de potencia por pequeños instantes de tiempo el sistema de almacenamiento por gravedad tiende a frenarse, ya que posiblemente la potencia eléctrica exigida es mayor que la potencia mecánica aplicada al generador. Con la implementación del volante de inercia en conjunto con los super capacitores ayudarían a que las repuestas de potencia instantánea sean muy rápidas sin frenar bruscamente a el generador. Por otra parte, cuando la batería por gravedad se descargue completamente es decir llegue a el suelo, el volante de inercia puede hacer que el generador siga produciendo energía por unos instantes de tiempo aprovechando la energía cinética de la caída de la masa.

Para aumentar la capacidad de almacenamiento de energía es necesario no limitar el sistema a un solo peso. Es por eso que una implementación a futuro es el diseño de un sistema mecánico que no solo levante el peso de forma vertical sino también cuando éste haya subido hasta la totalidad de la distancia útil, pueda moverlo de forma horizontal, trasladando así la masa y liberando a el motor generador para que este pueda subir una segunda masa o así sucesivamente las masas

necesarias para aumentar la capacidad de almacenamiento de energía, multiplicando la capacidad de almacenamiento inicial por la cantidad de masas subidas. Esto ayudaría a aumentar de forma significativa la densidad de energía del sistema de almacenamiento por gravedad.

Referencias

- Albarrán-Zavala, E. (2008). El potencial redox y la espontaneidad de las reacciones electroquímicas. *Am. J. Phys. Educ*, 2(3).
- Alkubaisi, Y., Hasan, W. Z. W., Mohd Noor, S. B., Kadir, M. Z. A. A., & Sabry, A. H. (2017). Gravitational electric energy of a multilevel parking buildings in commercial and residential sectors proof of concept and prototype measurements. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 14(12), 6030–6037. <https://doi.org/10.1166/jctn.2017.7052>
- Ambrojo, J. C. (2014). *Baterías alternativas orgánicas Acumuladores comestibles*. 4–5.
- Ang, S., Oliva, A., Griffiths, G., & Harrison, R. (2010). *Convertidores de potencia*. <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=JUFZD-wAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=f493usfBxF&sig=h-Fs8LbkPmYBhxcSzqa4ZVkte4>
- Antonio, F., & Martínez, C. (n.d.). *Eficiencia energética de motores y generadores eléctricos*.
- Benites, D., & Loyola, W. (2014). DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PULIDORA DE TUBOS CUADRADOS. In *Tesis*. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- Botha, C. D., & Kamper, M. J. (2019). Capability study of dry gravity energy storage. *Journal of Energy Storage*, 23, 159–174. <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.03.015>
- Carga de las baterías | Mastervolt*. (n.d.). Retrieved May 19, 2022, from <https://www.master-volt.es/carga-de-las-bateras/>
- Castillo, A., & Gayme, D. F. (2014). Grid-scale energy storage applications in renewable energy integration: A survey. *Energy Conversion and Management*, 87, 885–894. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.07.063>
- Chaves Osorio, J., Cortes Osorio, J., & Medina Aguirre, F. (2007). Diseño y construcción de un osciloscopio digital implementado en matlab. *Scientia Et Technica*, XIII(34), 489–494. <https://doi.org/10.22517/23447214.5677>
- Concellón, P. J. F. (2020). *Elementos de máquinas*.
- Cristi, I. (2003). *Sobre Palancas , Poleas Y Garruchas*. 1–18.
- Deane, J. H. B., & Hamill, D. C. (1990). Analysis, simulation and experimental study of chaos in the buck converter. *PESC Record - IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference*, 2(July 1990), 491–498. <https://doi.org/10.1109/pesc.1990.131228>

- Díaz, F. (2011). Introducción a Solidworks. *Solidworks*, 134. <https://bit.ly/2OHqEeu>
- Domínguez Soriano, E. J., & Ferrer Ruiz, J. (2018). Sistemas de transmisión y frenado (2018). In *Sistemas de transmisión y frenado (2018)*. [https://books.google.com.ec/books?id=1hhfDwAAQBAJ&pg=PA235&dq=sistema+de+frenos+de+tambor&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjovJ3L47frAhVRiFkKHQC0AHAQ6AEwAXoECAU-QAg#v=onepage&q=sistema de frenos de tambor&f=false%0Ahttps://books.google.com.ec/books?id=1hhfDwAAQBA](https://books.google.com.ec/books?id=1hhfDwAAQBAJ&pg=PA235&dq=sistema+de+frenos+de+tambor&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjovJ3L47frAhVRiFkKHQC0AHAQ6AEwAXoECAU-QAg#v=onepage&q=sistema%20de%20frenos%20de%20tambor&f=false%0Ahttps://books.google.com.ec/books?id=1hhfDwAAQBA)
- Doñu Ruiz, M. A. (2008). DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DE INERCIA DE MÁQUINAS SÍNCRONAS DE LABORATORIO. *Cic.Ipn.Mx*, 105. <http://www.cic.ipn.mx/sitioCIC/images/sources/cic/tesis/B020892.pdf>
- Escobar Mejia, A., & Holguín Londoño, M. (2011). *Sistemas de almacenamiento de energía y su aplicación en energías renovables*.
- Eyer, J., & Corey, G. (2011). Energy storage for the electricity grid: Benefits and market potential assessment guide. *Lightning in a Bottle: Electrical Energy Storage, February*, 1–191.
- Fluke Corporation. (2014). Conceptos básicos de los multímetros digitales. *Redeweb*, 1–13.
- Ge, L., Dong, Z., Quan, L., & Li, Y. (2019). Potential energy regeneration method and its engineering applications in large-scale excavators. *Energy Conversion and Management*, 195, 1309–1318. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.05.079>
- Huircán, J. . (2010). Reguladores de Voltaje. *1, 1(2)*, 1–8. http://quidel.inele.ufro.cl/~jhuircan/PDF_CTOSII/reguieeee.pdf
- Ingeniería, M. (2019). *¿Qué es una polea y que tipos existen? - Ingeniería Mecafenix*. <https://www.ingmecafenix.com/como-funciona/que-es-una-polea/>
- Jaime, L., & Fonseca, H. (n.d.). *CELIDAS, PILAS Y BATERÍAS DE ION-LITIO*.
- Morstyn, T., Chilcott, M., & McCulloch, M. D. (2019). Gravity energy storage with suspended weights for abandoned mine shafts. *Applied Energy*, 239, 201–206. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.226>
- Nájera, L., Abel, J., Vargas, A., & Méndez, J. (2005). PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA EN Quercus laeta. *Ra Ximhai*, 1(3), 559–576.
- Nash, J. N. (1997). Direct torque control, induction motor vector control without an encoder. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 33(2), 333–341. <https://doi.org/10.1109/28.567792>
- Navarro Pérez, J. (2018). Trabajo, potencia y energía. *Universidad Nacional de Educación*.

- Nieto Canos, Rafael López, O. G. (1985). *Montaje de ruedas dentadas para cadena*.
- Nubiola Aguilar, J. (1999). Neopositivismo y filosofía analítica: balance de un siglo. In *Acta Philosophica: rivista internazionale di filosofia* (Vol. 8, Issue 2, pp. 197–222).
- Patiño Duque, H. D., Lopez Posada, L. M., & Mosquera Angulo, E. S. (2017). Metodología del diseño y modelado de un accionamiento mecánico. *Scientia et Technica*, 22(1), 24. <https://doi.org/10.22517/23447214.12801>
- Programa de Ingeniería ELECTRÓNICA. (2015). *Plan Estratégico del Programa*.
- Rafael, V. P., Vladimir, S., Rafael, G. J., & Ciro, Q. E. (2018). *Motores sincrónicos de reluctancia asistidos por iman permanente : Un nuevo avance en el desarrollo de los motores eléctricos*
Permanent magnet assisted synchronous reluctance motors : A new advance in electric motors development. número 3, 267–277.
- Ramírez, J. (2012). *Introducción a Matlab y Simulink ¿ Qué es Matlab ?*
- Ramos, C. (2017). *Análisis de un convertidor DC/DC destinado al almacenamiento híbrido de energía*. http://oa.upm.es/48060/1/TFG_CRISTINA_RAMOS_FLORES.pdf
- Rodríguez, A., & Pérez, A. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista EAN*, 82, 179–200.
- Vega, A. J. P. (2019). *Universidad Oberta de Cataluña Máster de Ingeniería de Telecomunicación Comparativa Entre Motores Brushed y Brushless*.
- Vega Malagón, G., Ávila Morales, J., Vega Malagón, A. J., Camacho Calderón, N., Becerril Santos, A., & Leo Amador, G. E. (2014). Paradigmas en la Investigación: Enfoque cuantitativo y cualitativo. *European Scientific Journal*, 10(15), 523–528.
- Zhang, S., & Pan, N. (2014). *Supercapacitors Performance Evaluation*. 1–19. <https://doi.org/10.1002/aenm.201401401>

Anexos

Anexo 1. Construcción del sistema de almacenamiento de energía

De acuerdo a los datos obtenidos con el dimensionamiento de los sistemas se propuso y diseño en SolidWORKS un prototipo que cumpliera con cada una de las etapas anteriormente mencionadas, el diseño se puede observar a detalle con cada uno de los sistemas en las siguientes imágenes.

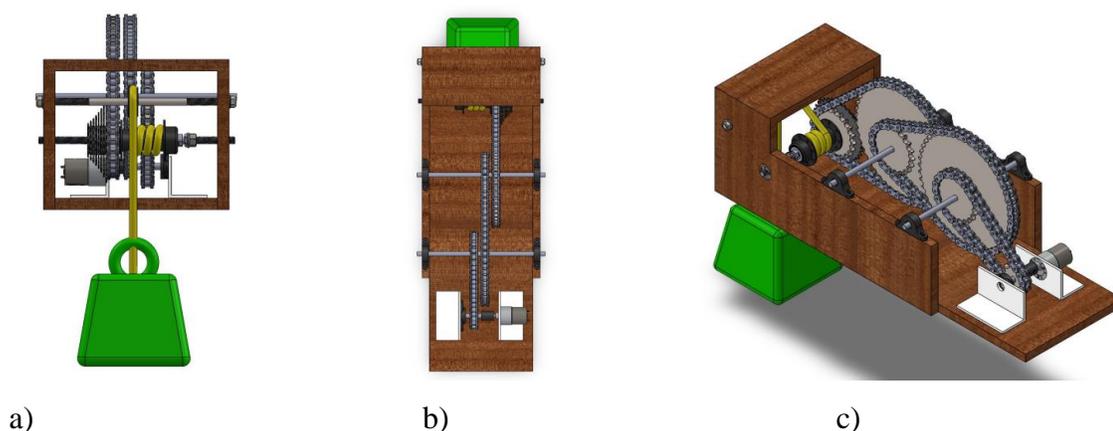


Figura 52. Diseño de sistemas en SolidWorks. (a) vista frontal, (b) vista superior y (c) vista isométrica.

Anexo 1.1 Sistema de acondicionamiento de energía.

Para el sistema de acondicionamiento de energía, se hizo uso de una herramienta de diseño de PCB en línea llamada EasyEDA. Donde se diseñó el circuito esquemático y el PCB que luego se descargó, se imprimió y se construyó de forma manual por el método del planchado. El circuito esquemático con regulador conmutado se puede observar en la Figura 27 y el circuito esquemático con el regulador LM7805 en la Figura 53. El sistema de acondicionamiento de energía aplicado a el prototipo tiene los siguientes materiales.

- **Motor / generador:** Potencia 3.8W / Voltaje 12V / Corriente 0.72A / Velocidad 87 rpm
Marca Pololu referencia 1106. El datasheet del motor se encuentra en el Anexo 10.
- **Regulador de voltaje (Step Down Buck):** Voltaje de entrada 5V - 32V / Voltaje de salida 0.8V – 24V / corriente de salida 3.5A / Potencia de salida 50W / Eficiencia teórica de conversión 95% / Referencia X14005 Dsn5000 Step Down Buck. El datasheet del regulador de voltaje se encuentra en el Anexo 11.

- **Sensor de corriente Acs712:** Su funcionamiento es a base del efecto Hall por lo que no existe ningún tipo de interferencia con el circuito que se está midiendo, Voltaje de alimentación 5V / Voltaje de salida 0V – 5V / sensibilidad 100mV/A.
- **Interruptor de final de carrera con palanca:** Resistencia de contacto inicial <math><50\text{m}\Omega</math> / Resistencia de aislamiento 1000 M Ω / Intensidad máxima 3A / voltaje máximo (DC) 125V.
- **Modulo Relé 4 canal:** Tensión de Bobina de 5V / Soporta tensiones de 30VDC a 10A aprox.
- **Arduino Nano:** Microcontrolador: ATmega328P / Voltaje de funcionamiento: 7V - 12V.
- **Transistor Mosfet IRL530N:** Transistor de canal N / Corriente máxima de drenaje 17A / Resistencia máxima en estado de fuente de drenaje (Rds): 0,1 Ohmios.

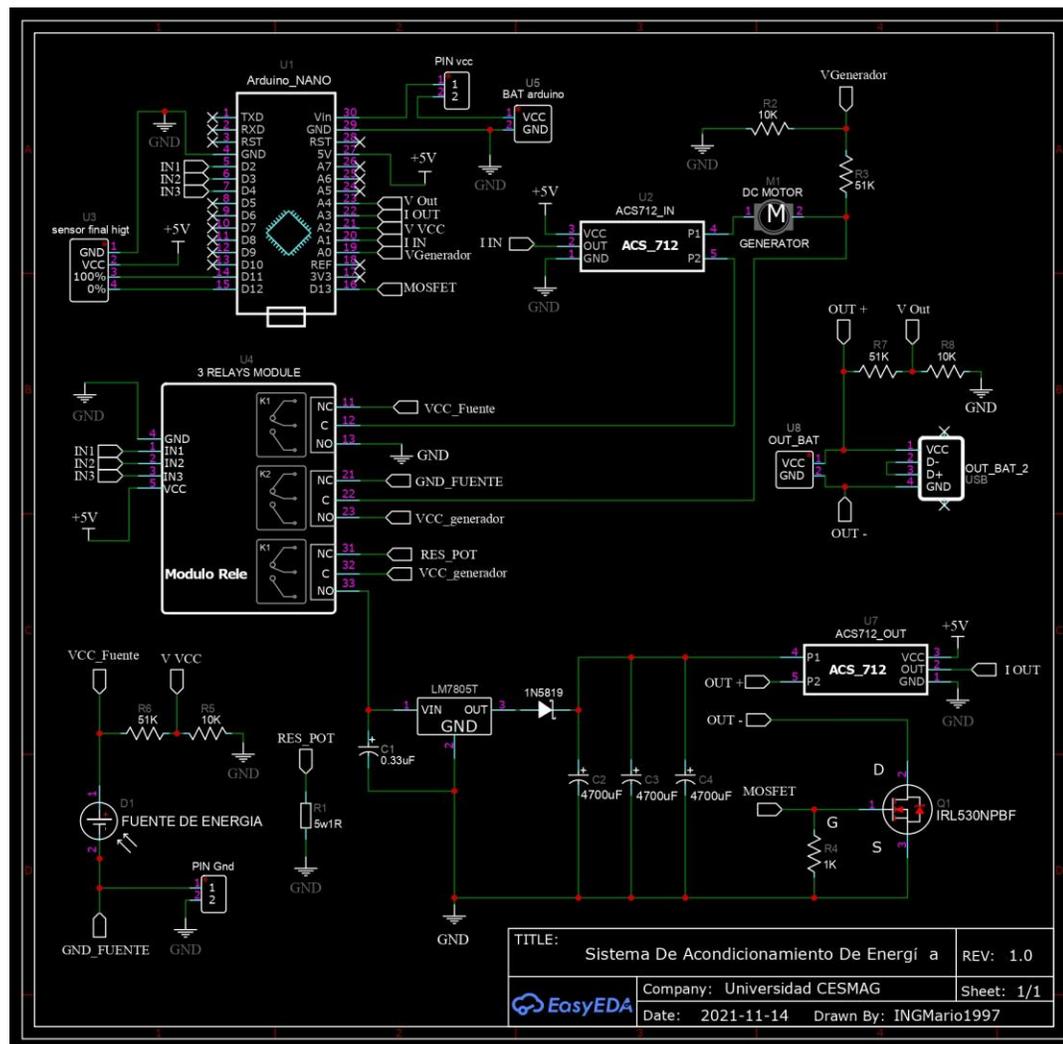


Figura 53. Circuito esquemático con regulador LM7805.

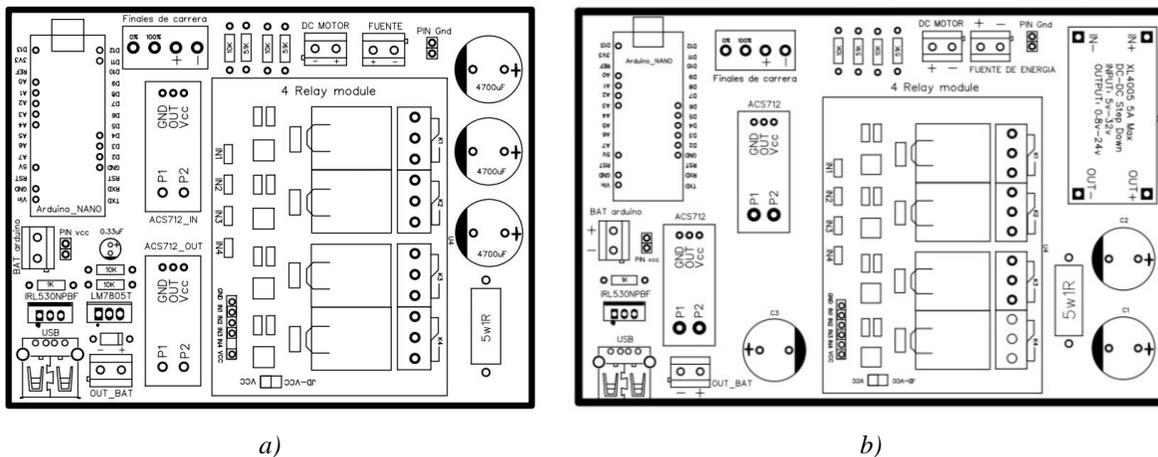


Figura 54. Serigrafía de circuito impreso a) con LM7805 y con b) regulador conmutado.

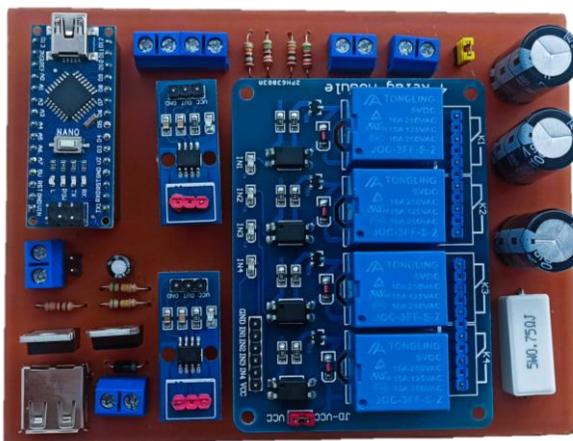


Figura 55. Placa de circuito impreso con regulador LM7805.



Figura 56. Placa de circuito impreso con modulo convertidor de voltaje XL4005.

Para el análisis de los datos obtenidos por los sensores con los cuales se estimó la eficiencia de carga y descarga del sistema se utilizó el IDE de Arduino, pero como este resulta lento en el caso de realizar tareas tales como la representación gráfica de datos de sensores o la incorporación en los proyectos de rutinas avanzadas de matemáticas, se hizo uso de la comunicación por puerto serial para realizar el análisis de datos a través de MATLAB, con el cual a partir de los valores de corriente y voltaje leídos por Arduino y la estimación de tiempo de subida y bajada del sistema de almacenamiento se calcula la energía de carga y descarga ya con este dato se encuentra la eficiencia general del sistema, parámetro en el que se centra la investigación del presente proyecto.

Anexo 1.2 Sistema de transmisión mecánica

Este sistema de transmisión se diseñó en el programa de solidWORKS como se observa en la Figura 52 a partir de los requerimientos de torque que el sistema necesita, los cuales fueron calculados con anterioridad, los materiales usados son los siguientes.

- **Plato corona de 48 dientes:** la corona se puede observar en la Figura 27.
 - diámetro de los dientes externos: 207mm.
 - espesor: 3 mm.



Figura 57. Relación de transmisión piñón de 16 y corona de 48 dientes a eje de 8mm.

- **Piñón de 16 dientes:** el piñón se puede observar en la Figura 57.
 - diámetro de los dientes externos: 69mm
 - espesor: 3 mm.
- **Piñón para motor DC de 11 dientes.**
 - diámetro de los dientes externos: 48mm
 - diámetro interno: 8 mm
 - espesor: 5 mm.
- **Cadena de acero:** compatible con manzana de 6 velocidades.
- **Pacha metálica de 6 velocidades:** piñones de 16 a 28 dientes.

- **Acople para eje de motor:** acople para eje de 6mm a 8mm, diseñada en solidWORKS he impresa en 3D con un 50% de relleno, una altura de capa de 0.2 mm y en material ABS, este acople se puede observar en la Figura 58.



Figura 58. Acople rígido de 6mm (eje motor) a 8mm.

- **Eje de acero de 8mm.**
- **Chumacera de 8mm para piso:** diseñada en solidWORKS he impresa en 3D con un 35% de relleno, una altura de capa de 0.2 mm y en material PLA, para disminuir la fricción se inserta un rodamiento de bolas de la referencia 608-RS en el eje interno de la chumacera.

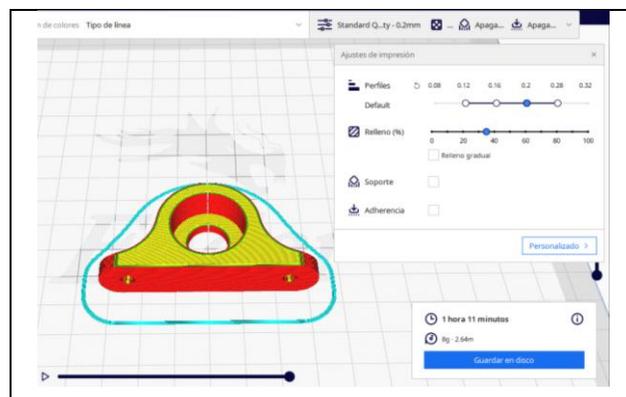




Figura 59. Chumacera de piso.

- **Chumacera de 8mm para pared:** diseñada en solidWORKS he impresa en 3D con un 35% de relleno, una altura de capa de 0.2 mm y en material PLA.

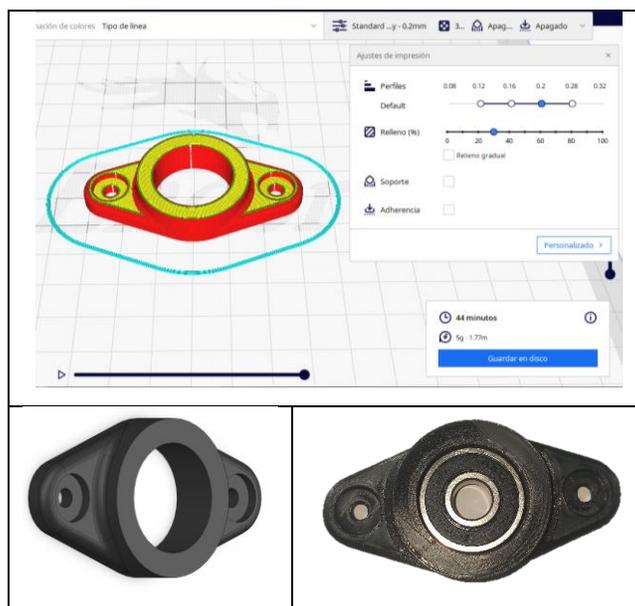


Figura 60. Chumacera de pared.

A partir de la fabricación de algunas piezas y de la compra de otras, se procedió a construir el sistema de transmisión mecánica. Primero se inició con el acople entre el eje del motor y la transmisión por cadena esta conexión se puede observar en la Figura 61.

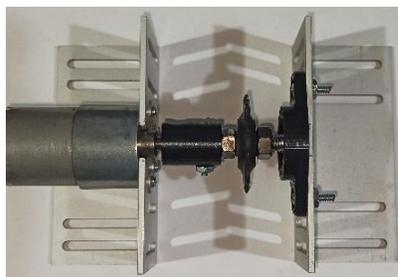


Figura 61. Acople entre eje de motor y piñón de 11 dientes.

En la Figura 62 se puede observar el sistema de transmisión mecánica terminado con una relación de transmisión mínima de 1:13 y máxima de 1:22 el cual se calculó previamente en el capítulo 4.

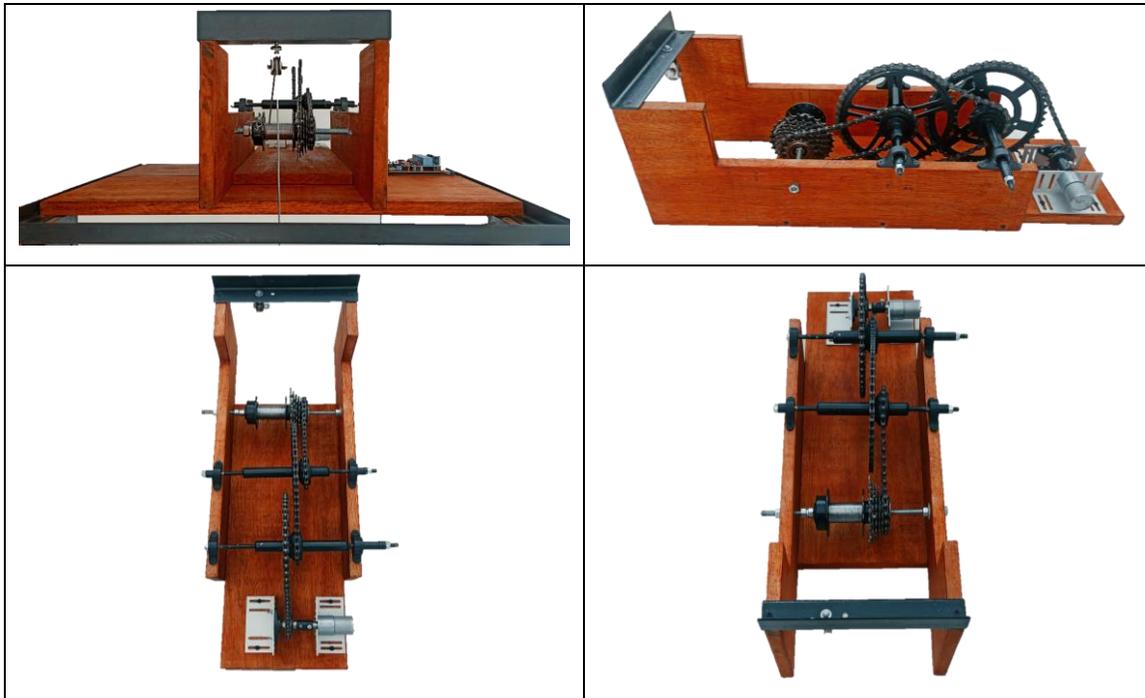


Figura 62. Montaje del sistema de transmisión mecánica

Anexo 1.3 Sistema de elevación de masa por cable

Para la construcción de este sistema teniendo en cuenta la masa que debe soportar y la velocidad de subida y bajada, se hizo uso de los siguientes componentes.

- **Cuerda rígida**

- Espesor: 5mm
- carga máxima de rotura: 500 Kg.

- **Tambor:** Como tambor se utilizó una manzana de bicicleta con eje interno de 8mm y eje externo de 30 mm, material de aluminio el cual se puede observar en la Figura 63.



Figura 63. Tambor.

- **Polea:** diseñada en solidWORKS he impresa en 3D con un 100% de relleno, una altura de capa de 0.2 mm y en material PLA, en el eje interno se inserta una balinera de bolas referencia 608-RS con un diámetro interno de 8mm externo de 22mm y 7mm de espesor material acero.

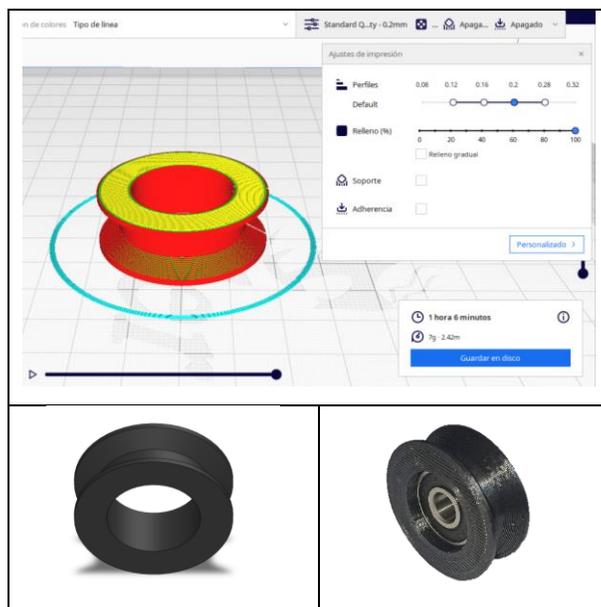
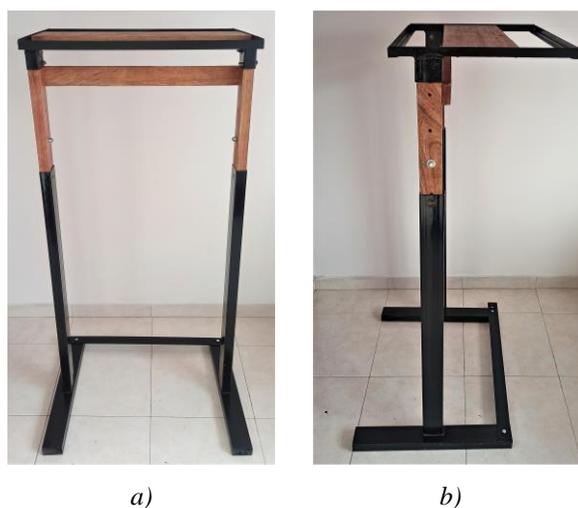


Figura 64. Polea en material PLA.

- **Estructura:** la estructura del sistema está construida a base de perfiles metálicos calibre 18 los cuales tienen un espesor de 1.2mm y perfiles de madera que se pueden subir o bajar para aumentar o disminuir la distancia útil como se puede observar en la Figura 65.



a)

b)

Figura 65. Estructura del sistema de almacenamiento de energía a) vista frontal y b) vista lateral.

- **Cajón:** Este cajón está construido a partir de ángulos metálicos calibre 14 o de 2mm de espesor y las tapas inferiores al igual que laterales en tablas de madera de 25mm de espesor, el cajón tiene unas medidas de 35cm de largo por 35cm de ancho y 30cm de alto alcanzando así un volumen de 36.750 cm^3 .



Figura 66. Estructura del cajón.

- **Eje de carga:** este eje es en varilla roscada de $\frac{1}{2}$ o 12mm de diámetro, es el encargado de sostener a el cajón el cual llevara la masa necesaria que para el presente proyecto se calculó en 32 kg a 52 kg. El eje se puede observar en la Figura 66 donde se detalla también que a cada extremo del mismo se agregó dos rodamientos tipo bolas de referencia 6001-2RS, con el fin de subir la masa de forma lineal y que se pierda la menor cantidad de energía en el rozamiento.

Tras la selección de los componentes necesarios para la construcción de este sistema, se procedió a acoplar con el sistema de transmisión mecánica por medio de la pacha metálica que a su vez esta acoplada a la manzana de bicicleta usada como tambor parte importante del sistema del sistema de elevación, En la Figura 67 se encuentra el sistema de elevación masa por cable terminado con una sola polea y en la Figura 68 el sistema con cinco poleas tres de ellas fijas y dos móviles.

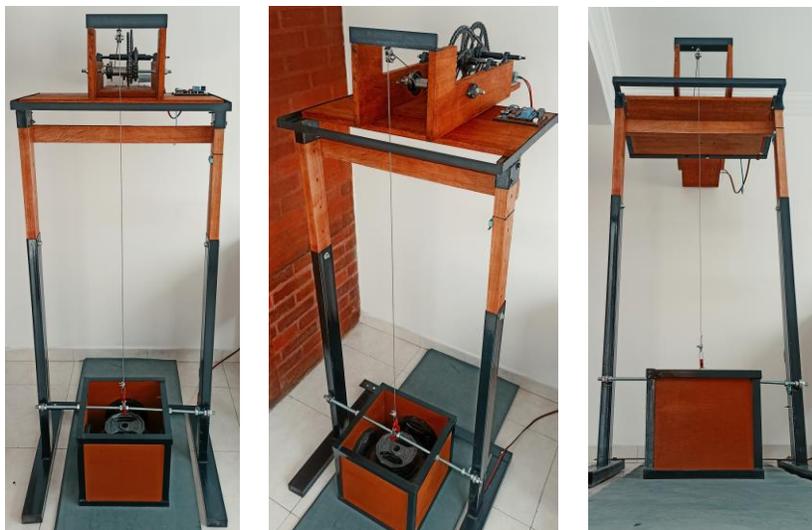


Figura 67. Sistema de elevación masa por cable con una polea.

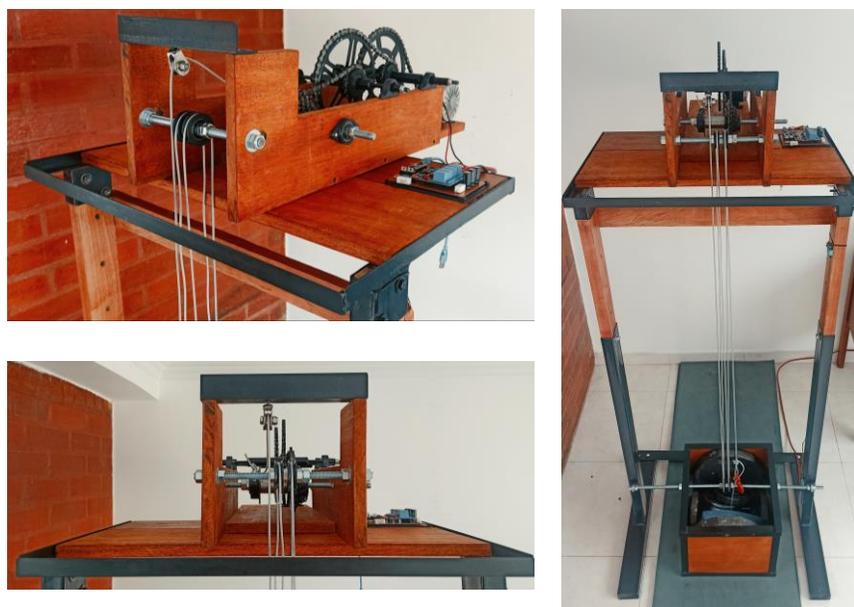


Figura 68. Sistema de elevación masa por cable con cinco poleas.

Anexo 2. Calibración De Sensores De Corriente ACS – 712.

El sensor de corriente ACS712 es una solución económica para medir corriente, internamente trabaja con un sensor de efecto Hall que detecta el campo magnético que se produce por inducción de la corriente que circula por la línea que se está midiendo. EL sensor entrega una salida de voltaje proporcional a la corriente que pasa por sus bornes la ventaja de usar este sensor es que no es invasivo es decir que su implementación no afecta la corriente que se conduce a través de él.

Según el fabricante el sensor entrega un valor de 2.5 voltios para una corriente de 0A y a partir de allí incrementa proporcionalmente de acuerdo a la sensibilidad, teniendo una relación lineal entre la salida de voltaje del sensor y la corriente. Dicha relación es una línea recta en una gráfica Voltaje vs Corriente donde la pendiente es la sensibilidad y la intersección en el eje Y es 2.5 voltios. La ecuación de la recta sería la siguiente

$$V = m * I + 2.5 \quad (45)$$

Donde la pendiente es m y equivale a la Sensibilidad, despejando se obtiene la ecuación para hallar la corriente a partir de la lectura del sensor como se observa en la siguiente ecuación.

$$I = \frac{V - 2.5}{Sensibilidad} \quad (46)$$

El rango de corriente que se puede medir y sensibilidad varían dependiendo del modelo del integrado, existen tres modelos los cuales se detallan en la Tabla 18.

Tabla 18. Modelos del sensor de corriente ACS-712

Modelo	Rango	Sensibilidad
ACS712ELCTR-05B-T	-5 a 5 A	185 mV/A
ACS712ELCTR-20A-T	-20 a 20 A	100 mV/A
ACS712ELCTR-30A-T	-30 a 30 A	66 mV/A

Para el presente proyecto se trabajó con la referencia ACS712ELCTR-20A-T con la cual se puede medir una corriente máxima de 20 amperios según fabricante, la hoja de características de este sensor se puede observar en el Anexo 14.

Al realizar las pruebas con el valor de sensibilidad correspondiente que equivale a 100 mv/A los valores de corriente medidos no son correctos, esto se debe a que el Arduino nano tiene un voltaje de salida de 4.4v con el cual se está alimentando a los sensores no de 5v. por tanto el voltaje

correspondiente a 0A no es de 2.5v como lo dice el fabricante. Para esto se procedió a realizar una calibración donde se pueda hallar los valores reales de sensibilidad y punto medio puesto que los valores que da el fabricante no son exactos.

Para obtener el valor de sensibilidad al tratarse de una recta, basta con obtener dos puntos. para ello se hace uso de un multímetro de la marca UNI-T de referencia UT- 132C y se lo conecta en serie con el sensor ACS-712 y la carga a medir, posteriormente se tomó las lecturas de voltaje del sensor, para ello se hizo uso de una programación la cual se muestra en el Anexo 4. El primer punto que se debe medir es para una corriente de 0 amperios como se muestra en la Figura 69



Figura 69. Voltaje de sensor para 0A

Con este dato se obtiene el primer punto de la recta el cual corresponde a P1(2.460 , 0), para encontrar el segundo punto se procede a aplicar corriente a la resistencia de potencia conectada a la salida del sensor como se observa en la Figura 70 con ello se obtienen el punto P2(2.481 , 0.26).



Figura 70. Voltaje de sensor para 0.26A.

Para calcular la sensibilidad se obtiene la pendiente ecuación (47).

$$\text{sensibilidad} = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1} = \frac{2.481 - 2.460}{0.260 - 0} = 0.080 \quad (47)$$

Teniendo el valor de sensibilidad (0.080V/A) y el voltaje donde la corriente es cero (2.460v) se rempazan estos datos en la ecuación (46). Para realizar la lectura de corriente se necesita leer la entrada analógica de Arduino (A3) donde se encuentra conectado el sensor de corriente de salida

y con la formula antes expuesta obtener la corriente. La programación para la lectura de corriente se muestra en el Anexo 5 y los resultados se pueden observar en la Figura 71.



Figura 71. Medición de corriente con sensor ACS-712 (A3) vs multímetro.

Se realiza el mismo proceso con el sensor de corriente de carga conectado a el pin analógico de Arduino (A1) donde se obtuvo una sensibilidad de 0.104V/A y para comprobar la medición se le conecto el motor reductor en serie con el multímetro y el sensor, el resultado se observa en la Figura 72.

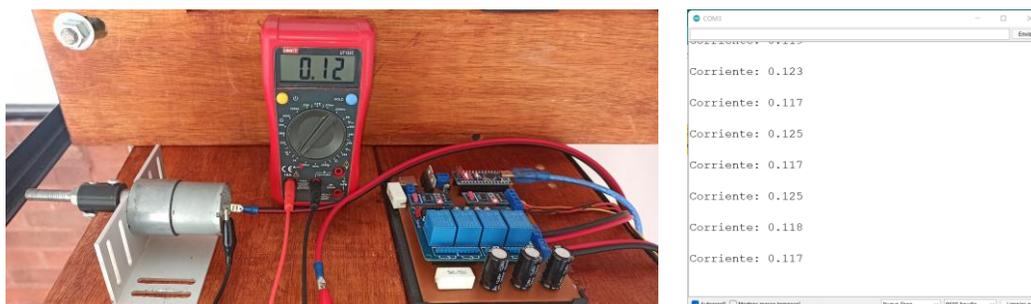


Figura 72. Medición de corriente con sensor ACS-712 (A1) vs multímetro.

Anexo 3. Eficiencia de reguladores de voltaje.

Para el análisis de la eficiencia del regulador LM7805 se hace uso de la programación de adquisición de datos (Anexo 7) con la cual se calcula la potencia de entrada hacia el regulador y la potencia de salida como se observa en la Figura 73.

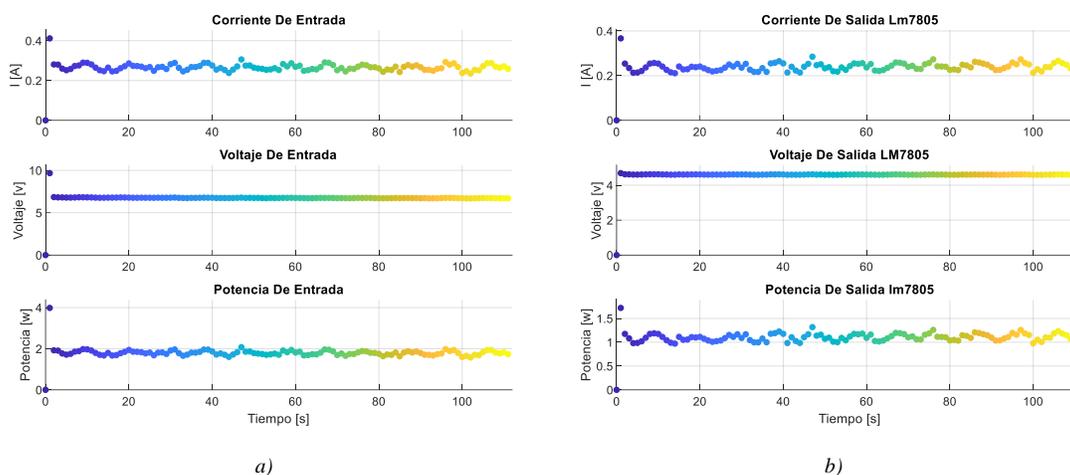


Figura 73. Datos del regulador LM 7805 a) potencia de entrada y b) potencia de salida.

Posteriormente con la programación de tratamiento de datos (Anexo 8) se calcula la energía de entrada y la energía de salida en Joule y Wh. Para encontrar la eficiencia se aplica por medio de Matlab la ecuación (40), la eficiencia encontrada para una potencia de salida de 1.2 Watts aproximadamente es de 61.11% como se observa en la Figura 74.

```
Command Window
Energia de entrada = 200.70[J] = 0.0558[Wh]
Energia de salida = 122.66[J] = 0.0341[Wh]
Eficiencia LM7805 = 61.11%
fx >>
```

Figura 74. Eficiencia regulador LM 7805.

Se realiza el mismo procedimiento con el convertidor reductor de voltaje XL4005 donde los datos entrada y salida se muestran en la Figura 75.

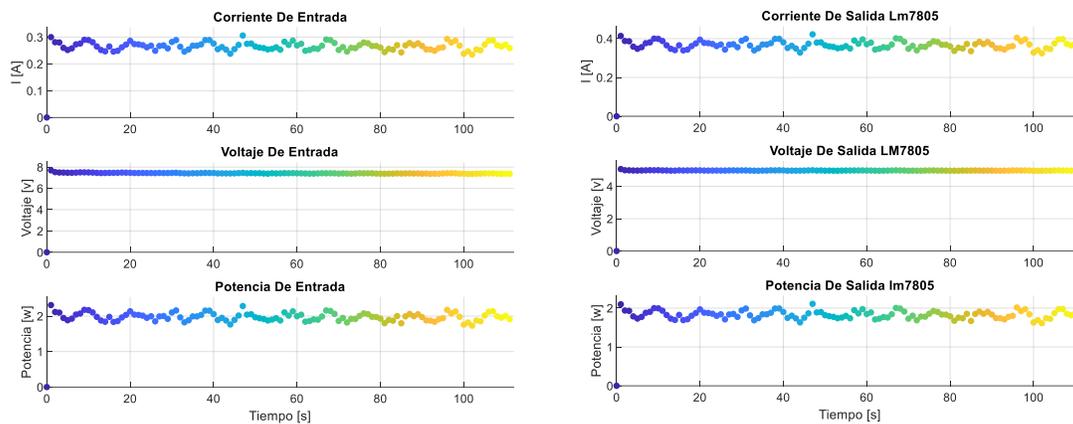


Figura 75. Datos de convertidor reductor de voltaje XL4005.

La eficiencia del convertidor DC – DC para una potencia de 2 Watts aproximadamente es del 92.47%.

```

Command Window
Energia de entrada = 218.70[J] = 0.0608[Wh]
Energia de salida = 202.24[J] = 0.0562[Wh]
Eficiencia XL4005 = 92.47%
fx >>

```

Figura 76. Eficiencia de convertidor de voltaje XL 4005.

Anexo 4. Programación en Arduino para calibración de sensores ACS-712.

```

int rele3 = 4;
int rele2 = 3;
int rele1 = 2;
int MOSFET = 13;

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  pinMode(rele1, OUTPUT);
  pinMode(rele2, OUTPUT);
  pinMode(rele3, OUTPUT);
  pinMode(MOSFET, OUTPUT);

  digitalWrite(rele1, LOW);      // encendido
  digitalWrite(rele2, LOW);      // encendido
  digitalWrite(rele3, LOW);      // encendido
  digitalWrite(MOSFET, HIGH);    // encendido
}

void loop() {

  float voltajeSensor = get_voltage(200); // voltaje del sensor (200 muestras)
  Serial.print("Voltaje del sensor: ");
  Serial.println(voltajeSensor , 3);
  Serial.println(" ");
  delay (1000);
}

float get_voltage(int n_muestras)
{
  float voltage = 0;
  for (int i = 0; i < n_muestras; i++)
  {
    voltage = voltage + analogRead(A3) * (5.0 / 1023.0);
  }
  voltage = voltage / n_muestras;
  return (voltage);
}

```

Anexo 5. Programación en Arduino para medición de corriente con el sensor ACS-712

```

float Sensibilidad = 0.080;    // sensibilidad en Voltios/Amperio
float I0 = 2.460;             // valor de voltaje en corriente 0 A

int rele3 = 4;
int rele2 = 3;
int rele1 = 2;
int MOSFET = 13;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(rele1, OUTPUT);
  pinMode(rele2, OUTPUT);
  pinMode(rele3, OUTPUT);
  pinMode(MOSFET, OUTPUT);

  digitalWrite(rele1, LOW); // encendido
  digitalWrite(rele2, LOW); // encendido
  digitalWrite(rele3, LOW); // encendido
  digitalWrite(MOSFET, HIGH); // encendido
}

void loop() {
  float I = corriente(200);
  Serial.print("Corriente: ");
  Serial.println(I , 3);
  Serial.println(" ");
  delay (1000);
}

float corriente(int n_muestras)
{
  float voltajeSensor;
  float corriente_ = 0;
  for (int i = 0; i < n_muestras; i++)
  {
    voltajeSensor = analogRead(A3) * (5 / 1023.0);
    corriente_ = corriente_ + (voltajeSensor - I0) / Sensibilidad;
  }
  corriente_ = (corriente_ / n_muestras);
  return (abs (corriente_));
}

```

Anexo 6. Programación de Arduino para el control y adquisición de datos.

```
// DATOS DEL SENSOR DE CORRIENTE DE SALIDA A3
float Sensibilidad_A3 = 0.080; //sensibilidad en Voltios/Amperio
float IO_A3 = 2.461; //valor de voltaje en corriente 0 A

//DATOS DEL SENSOR DE CORRIENTE DE CARGA Y DESCARGA A1
float Sensibilidad_A1;
float IO_A1;

float I_OUT = 0;
float I_CARGA = 0;
float I_DESCARGA = 0;
float voltaje_fuente = 0;
float voltaje_GENERADOR = 0;
float Voltaje_LM7805 = 0;
float POTENCIA_CARGA = 0;
float POTENCIA_sin_regulador = 0;
float POTENCIA_con_regulador = 0;

int finalArriba = 11; //Final de carrera 100%
int finalAbajo = 12; //Final de carrera 0%
int rele3 = 4;
int rele2 = 3;
int rele1 = 2;
int MOSFET = 13;

bool cargado = LOW;
bool descargado = LOW;
bool indicador_BAJADA = LOW;

unsigned long tiempo_0 = millis();

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(rele1, OUTPUT);
  pinMode(rele2, OUTPUT);
  pinMode(rele3, OUTPUT);
  pinMode(MOSFET, OUTPUT);
  pinMode(finalAbajo, INPUT);
  pinMode(finalArriba, INPUT);

  digitalWrite(rele1, HIGH); // apagado
  digitalWrite(rele2, HIGH); // apagado
  digitalWrite(rele3, HIGH); // apagado
  digitalWrite(MOSFET, LOW); // apagado
}

void loop() {

  //DATOS DEL SENSOR DE CORRIENTE DE CARGA A1 (Cargando)
  Sensibilidad_A1 = 0.104;
  IO_A1 = 2.495;

  cargado = digitalRead(finalArriba);
  while (cargado == HIGH) {
    descargado = digitalRead(finalAbajo);
    if (descargado == HIGH) {
      funcion_bat_descargada();
    } else {
      if (indicador_BAJADA == LOW) {
        Serial.println("0");
      }
    }
  }
}
```

```

indicador_BAJADA = HIGH;
}
funcion_bat_cargada();
}
}

voltaje_fuente = Voltaje_A2(100);
I_CARGA = corriente_CARGA_A1(200);

if ((millis() - tiempo_0) >= 1000UL) {
  if (I_CARGA >= 0.100) {
    POTENCIA_CARGA = I_CARGA * voltaje_fuente;
    Serial.println(POTENCIA_CARGA, 3);
  }
  tiempo_0 = millis();
}
}

// _____ FUNCIONES _____

void funcion_bat_cargada() {

  //DATOS DEL SENSOR DE CORRIENTE DE CARGA A1 (Descargando)
  Sensibilidad_A1 = 0.1;
  I0_A1 = 2.490;

  digitalWrite(rele1, LOW); //encendido
  digitalWrite(rele2, LOW); //encendido
  digitalWrite(rele3, LOW); //encendido

  if (Voltaje_LM7805 <= 2.5) {
    funcion_carga_cap();
  }

  digitalWrite(MOSFET, HIGH);

  I_OUT = corriente_SALIDA_A3(200);
  Voltaje_LM7805 = Voltaje_A4(100);

  while (I_OUT <= 0.50 && Voltaje_LM7805 >= 4) {
    digitalWrite(rele3, HIGH); // vuelve a la resistencia de potencia
    I_OUT = corriente_SALIDA_A3(200);
    Voltaje_LM7805 = Voltaje_A4(100);
  }

  I_DESCARGA = corriente_CARGA_A1(200);
  voltaje_GENERADOR = Voltaje_A0(100);

  if ((millis() - tiempo_0) >= 1000UL) {
    if (I_OUT >= 0.050) {
      // DATOS SIN REGULADOR
      Serial.println(I_DESCARGA, 3);
      Serial.println(voltaje_GENERADOR, 3);
      // DATOS CON REGULADOR
      Serial.println(I_OUT, 3);
      Serial.println(Voltaje_LM7805, 3);
    }
    tiempo_0 = millis();
  }
}

void funcion_bat_descargada() {
  digitalWrite(rele1, HIGH); // apagado

```

```

digitalWrite(rele2, HIGH); // apagado
digitalWrite(rele3, HIGH); // apagado
cargado = LOW;
descargado = LOW;
indicador_BAJADA = LOW;
Serial.println("0");
Serial.println("0");
Serial.println("0");
Serial.println("0");
}

void funcion_carga_cap() {
digitalWrite(rele3, LOW);
digitalWrite(MOSFET, LOW);

while (descargado == LOW && Voltaje_LM7805 <= 4) {
descargado = digitalRead(finalAbajo);
Voltaje_LM7805 = Voltaje_A4(10);
}
}

float Voltaje_A2(int n_muestras) // voltaje de fuente
{
float sensorPin_F;
float voltaje_F = 0;
for (int i = 0; i < n_muestras; i++)
{
sensorPin_F = (float)27.52 * analogRead(A2) / 1023;
voltaje_F = voltaje_F + sensorPin_F;
}
voltaje_F = voltaje_F / n_muestras;
return (voltaje_F);
}

float Voltaje_A0(int n_muestras) // voltaje de generador
{
float sensorPin_G;
float voltaje_G = 0;
for (int i = 0; i < n_muestras; i++)
{
sensorPin_G = (float)25.2 * analogRead(A0) / 1023;
voltaje_G = voltaje_G + sensorPin_G;
}
voltaje_G = voltaje_G / n_muestras;
return (voltaje_G);
}

float Voltaje_A4(int n_muestras) // voltaje de salida de regulador
{
float sensorPin_S;
float voltaje_S = 0;
for (int i = 0; i < n_muestras; i++)
{
sensorPin_S = (float)8.3 * analogRead(A4) / 1023;
voltaje_S = voltaje_S + sensorPin_S;
}
voltaje_S = voltaje_S / n_muestras;
return (voltaje_S);
}

float corriente_SALIDA_A3(int n_muestras) // corriente de salida de regulador
{
float voltajeSensor;

```

```
float corriente = 0;
for (int i = 0; i < n_muestras; i++)
{
    voltajeSensor = analogRead(A3) * (5 / 1023.0);
    corriente = corriente + (voltajeSensor - IO_A3) / Sensibilidad_A3;
}
corriente = corriente / n_muestras;
return (abs (corriente));
}

float corriente_CARGA_A1(int n_muestras) //corriente de carga y descarga
{
    float voltajeSensor_C;
    float corriente_C = 0;
    for (int i = 0; i < n_muestras; i++)
    {
        voltajeSensor_C = analogRead(A1) * (5 / 1023.0);
        corriente_C = corriente_C + (voltajeSensor_C - IO_A1) / Sensibilidad_A1;
    }
    corriente_C = (corriente_C / n_muestras);
    return (abs (corriente_C));
}
```

Anexo 7. Programación en Matlab - leer y guardar datos del puerto serial.

```

%% Toma de datos batería por gravedad
close all, clear all, clc
%% vectores de datos
P_Carga = [];
I_Descarga = [];
V_generador = [];
I_lm7805 = [];
V_LM7805 = [];

Cont_Carga = 1;
Cont_Descarga = 1;

P_Carga(Cont_Carga) = 0;
I_Descarga(Cont_Descarga) = 0;
V_generador(Cont_Descarga) = 0;

I_lm7805(Cont_Descarga) = 0;
V_LM7805(Cont_Descarga) = 0;

delete(instrfind({'port'},{'COM3'}));
PUERTO_SERIAL = serial('COM3');
PUERTO_SERIAL.BaudRate = 9600;
fopen(PUERTO_SERIAL);

indicador = 1;

%% procesamiento de datos
while indicador ~= 0 % Mientras indicador es diferente de 0
    Cont_Carga = Cont_Carga+1;
    P_Carga(Cont_Carga) = fscanf(PUERTO_SERIAL,'%g');
    indicador = P_Carga(Cont_Carga);

    figure(1);
    scatter(Cont_Carga,P_Carga(Cont_Carga),100,'filled')
    title('Batería Por Gravedad');
    xlabel('Tiempo [s]');
    ylabel('Potencia De Carga [W]');
    hold on
    grid on
    axis([0 Cont_Carga 0 20]);
    drawnow;
end
indicador = 1;
while indicador ~= 0 % Mientras indicador es diferente de 0
    Cont_Descarga = Cont_Descarga+1;
    I_Descarga(Cont_Descarga) = fscanf(PUERTO_SERIAL,'%g');
    V_generador(Cont_Descarga) = fscanf(PUERTO_SERIAL,'%g');

    I_lm7805(Cont_Descarga) = fscanf(PUERTO_SERIAL,'%g');
    V_LM7805(Cont_Descarga) = fscanf(PUERTO_SERIAL,'%g');
    indicador = I_Descarga(Cont_Descarga);

    figure(2)
    P_Descarga = I_Descarga.* V_generador;
    scatter(Cont_Descarga,P_Descarga(Cont_Descarga),100,'filled')
    title('Batería Por Gravedad');
    xlabel('Tiempo [s]');
    ylabel('Potencia De Descarga [W]');
    hold on
    grid on

```

```
axis([0 Cont_Descarga 0 3]);
drawnow;
end
P_Carga(end) = [];
I_Descarga(end) = [];
I_lm7805(end) = [];
V_generador(end) = [];
V_LM7805(end) = [];

fclose(PUERTO_SERIAL);
delete(PUERTO_SERIAL);
clear PUERTO_SERIAL;

Masa = 52;           % Kg
Distancia = 1;      % Metros

save('Datos_Carga-Descarga','P_Carga','I_Descarga','V_genera-
dor','I_lm7805','V_LM7805','Cont_Carga','Cont_Descarga','Masa','Distancia');
```

Anexo 8. Programación Matlab - tratamiento de datos

```

%% Tratamiento de datos para encontrar Eficiencia de carga y descarga
clear all ,close all, clc

load('Datos_Carga-Descarga');
t_Carga = 0:1:Cont_Carga-2;
t_Descarga = 0:1:Cont_Descarga-2;

%% energía de carga
figure()
c = linspace(0,1,length(t_Carga));
scatter(t_Carga,P_Carga,50,c,'filled')
title('Potencia De Carga');
ylabel('Potencia [w]');
xlabel('Tiempo [s]');
hold on
grid on
axis([0 length(P_Carga) 0 max(P_Carga)*1.1]);

% Calculo de energía De Carga
E_Joules_carga = trapz(t_Carga,P_Carga)
t1 = t_Carga/3600;
Ah_carga = trapz(t1,P_Carga);

%% Energia de bajada o de descarga
P_Descarga = I_Descarga.* V_generador;

% Calculo de energía de descarga
E_Joules_descarga = trapz(t_Descarga,P_Descarga)
t2 = t_Descarga/3600;
Ah_descarga = trapz(t2,P_Descarga);

figure()
subplot(311)
c = linspace(0,1,length(t_Descarga));
scatter(t_Descarga,I_Descarga,50,c,'filled')
title('Corriente De Descarga');
ylabel('I [A]');
hold on
grid on
axis([0 length(t_Descarga) 0 max(I_Descarga)*1.1]);

subplot(312)
c = linspace(0,1,length(t_Descarga));
scatter(t_Descarga,V_generador,50,c,'filled')
title('Voltaje De Generador');
ylabel('Voltaje [v]');
hold on
grid on
axis([0 length(t_Descarga) 0 max(V_generador)*1.1]);

subplot(313)
c = linspace(0,1,length(t_Descarga));
scatter(t_Descarga,P_Descarga,50,c,'filled')
title('Potencia De Descarga');
ylabel('Potencia [w]');
xlabel('Tiempo [s]');
hold on
grid on
axis([0 length(t_Descarga) 0 max(P_Descarga)*1.1]);

```

```

%% Energía con regulador LM7805
P_lm7805 = I_lm7805 .* V_LM7805;
% cálculo de energía de salida
E_Joules_lm7805 = trapz(t_Descarga,P_lm7805)
t2 = t_Descarga/3600;
Ah_lm7805 = trapz(t2,P_lm7805);

figure()
subplot(311)
scatter(t_Descarga,I_lm7805,50,c,'filled')
title('Corriente De Descarga Lm7805');
ylabel('I [A]');
hold on
grid on
axis([0 length(t_Descarga) 0 max(I_lm7805)*1.1]);

subplot(312)
scatter(t_Descarga,V_LM7805,50,c,'filled')
title('Voltaje De LM7805');
ylabel('Voltaje [v]');
axis([0 length(t_Descarga) 0 max(V_LM7805)*1.1]);
hold on
grid on

subplot(313)
scatter(t_Descarga,P_lm7805,50,c,'filled')
title('Potencia De Descarga lm7805');
ylabel('Potencia [w]');
xlabel('Tiempo [s]');
axis([0 length(t_Descarga) 0 max(P_lm7805)*1.1]);
hold on
grid on

%% Eficiencia
%potencia mecánica = masa * gravedad * distancia / tiempo
Pot_Mecanica = Masa*9.8*Distancia / (length(P_Carga)-1)
Energia_mecanica = Pot_Mecanica*(length(P_Carga)-1)
Eficiencia_Motor = (Energia_mecanica/E_Joules_carga)*100
Eficiencia_Generador = E_Joules_descarga/Energia_mecanica*100
Eficiencia_Lm7805 = E_Joules_lm7805/E_Joules_descarga*100
Eficiencia_bat_sin_regulador = E_Joules_descarga/E_Joules_carga*100
Eficiencia_bat_LM7805 = E_Joules_lm7805/E_Joules_carga*100

%% Datos estadísticos
V_generador_promedio = mean(V_generador)
I_Descarga_promedio = mean (I_Descarga)
I_lm7805_promedio = mean(I_lm7805)
P_Descarga_promedio = mean(P_Descarga)
P_lm7805_promedio = mean(P_lm7805)

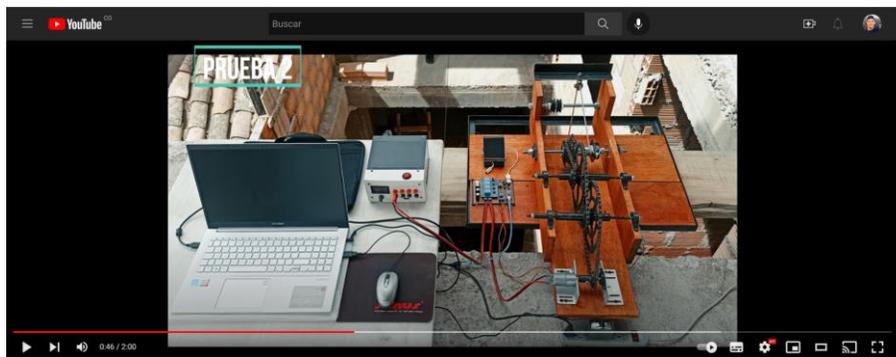
%% impresión de datos
fprintf('Energía de carga = %.2f[J] = %.4f[Wh] \n',E_Joules_carga,wh_carga);
fprintf('Energía de descarga = %.2f[J] = %.4f[Wh] \n',E_Joules_descarga,wh_descarga);

fprintf('Eficiencia Motor = %.2f%% \n',Eficiencia_Motor);
fprintf('Eficiencia Generador = %.2f%% \n',Eficiencia_Generador);
fprintf('Eficiencia Bat sin regulador = %.2f%% \n',Eficiencia_bat);

fprintf('\n');
fprintf('Datos de salida promedio de generador \n');
fprintf('Voltaje promedio = %.3f[V] \n',V_generador_promedio);
fprintf('Corriente promedio = %.3f[A] \n',I_Descarga_promedio);
fprintf('Potencia promedio = %.3f[W] \n',P_Descarga_promedio);

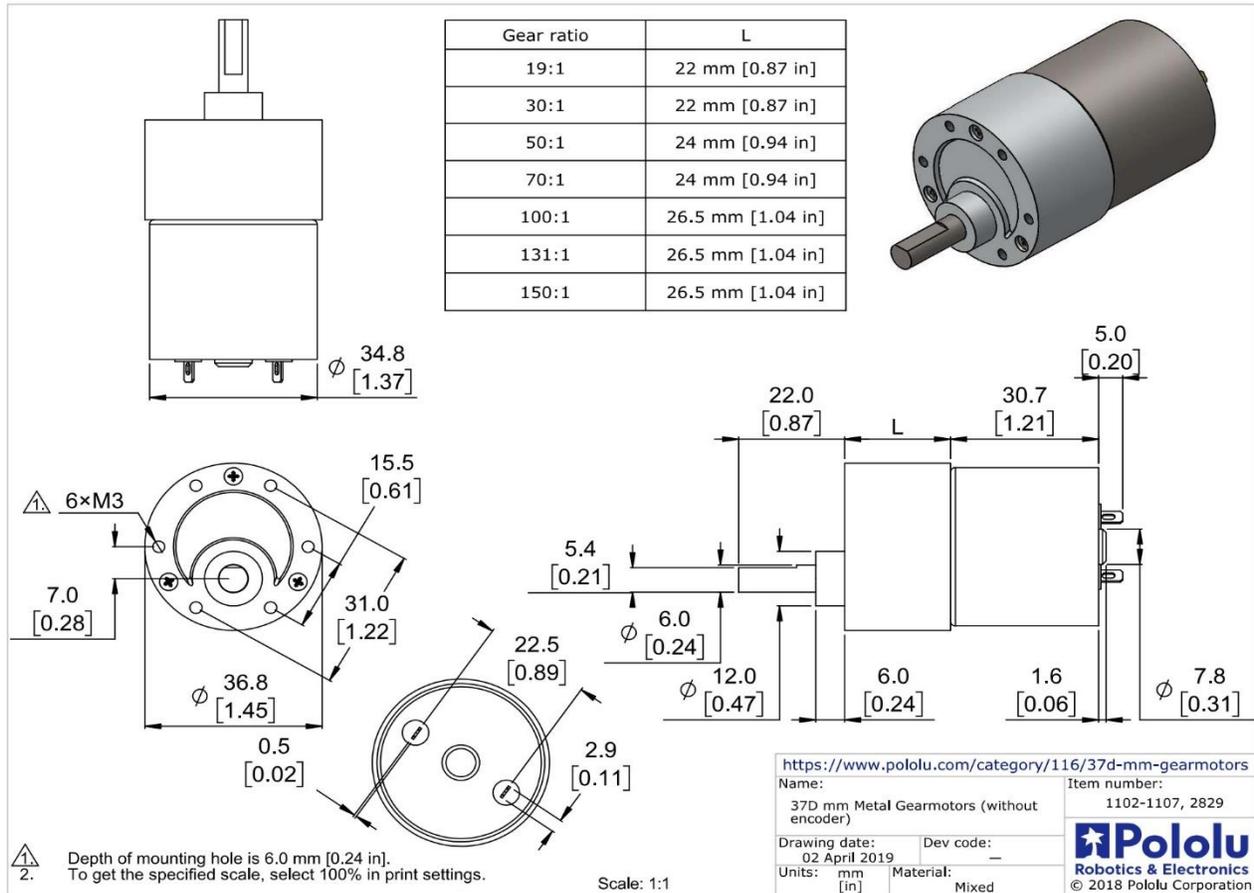
```

Anexo 9. Video correspondiente a el funcionamiento del sistema de almacenamiento.



<https://youtu.be/cE9m6dfrwyA>

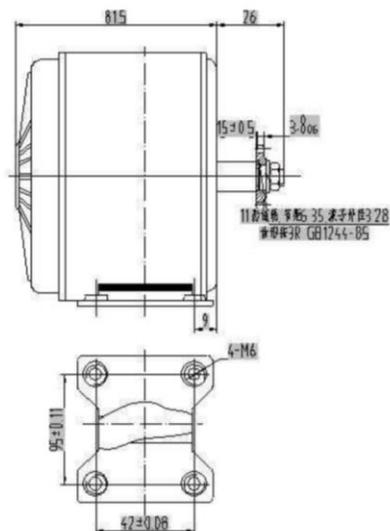
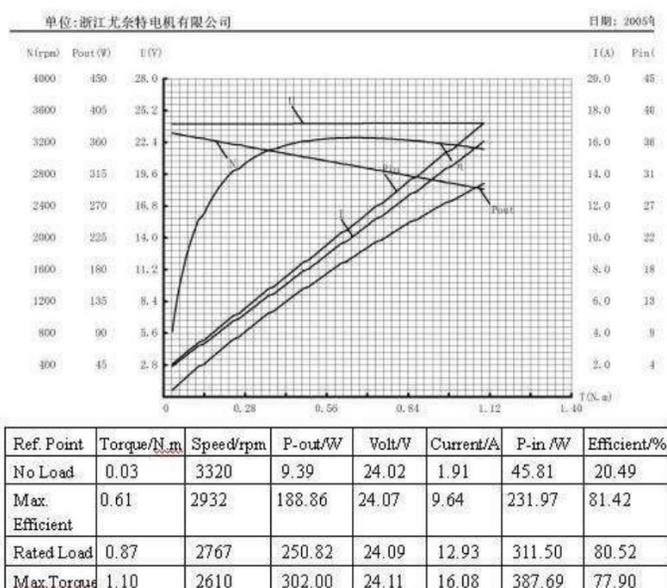
Anexo 10. Datasheet Motor Generator Pololu.



Anexo 11. Datasheet de motor generador MY1016 24V.

PERFORMANCE DATA (MatCon, 2015)

Power output	250 W / 24 V
Rated Current	$\leq 15,0$ A
Rated Speed (rpm)	2750 +/- 5 %
Max. Speed (rpm)	3350 +/- 5 %
Current without load	$\leq 1,4$ A
Rated Torque	0,97 Nm +/- 5 %
Transmission	sprocket (11 teeth), metal
Shaft diameter	8 mm (milled groove one-sided 1,5 mm)
Efficiency	$\geq 76\%$
Weight	1,9 KG



Anexo 12. Regulador de voltaje lineal LM7805.



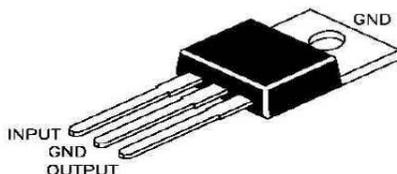
Continental Device India Limited
An ISO/TS 16949, ISO 9001 and ISO 14001 Certified Company



3-TERMINAL POSITIVE VOLTAGE REGULATOR

LM7805

TO-220
Plastic Package



The Voltages Available allow these Regulators to be used in Logic Systems, Instrumentation, Hi-Fi Audio Circuits and other Solid State Electronic Equipment

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

DESCRIPTION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Input Voltage	V_{IN}	35	V
Continuous Total Dissipation at $T_a=25^\circ\text{C}$ free air Temperature	P_D	2.0	W
Continuous Total Dissipation at $T_c=25^\circ\text{C}$ case Temperature	P_D	15	W
Operating free-air, case, or Virtual Junction Temperature Range	T_{OPR}	0 to 150	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	- 65 to +150	$^\circ\text{C}$
Lead Temperature 1.6mm (1/16 inch) from Case for 10 seconds	T_L	260	$^\circ\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_j=25^\circ\text{C}$ unless specified otherwise)

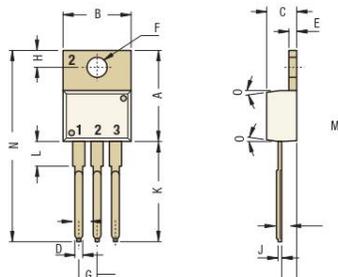
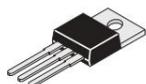
$V_i=10\text{V}$, $I_o=500\text{mA}$

DESCRIPTION	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	V_O	$T_j=25^\circ\text{C}$	4.80		5.20	V
		$I_o=5\text{mA} \sim 1\text{A}$ $V_i=7\text{V} \sim 20\text{V}$, $P \leq 15\text{W}$ $T_j=0 \sim 125^\circ\text{C}$	4.75		5.25	V
Line Regulation	R_{REGV}	$V_i=7.0 \sim 25\text{V}$ $T_j=25^\circ\text{C}$			100	mV
		$V_i=8.0 \sim 12\text{V}$			50	mV
Ripple Rejection	R_R	$V_i=8.0 \sim 18\text{V}$, $f=120\text{Hz}$ $T_j=0 \sim 125^\circ\text{C}$	62			dB
Load Regulation	R_{EGL}	$I_o=5\text{mA} \sim 1.5\text{A}$ $T_j=25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_o=250\text{mA} \sim 750\text{mA}$			50	mV
Output Resistance	R_O	$f=1\text{KHz}$ $T_j=0 \sim 125^\circ\text{C}$		0.017		Ω
Output Voltage Drift	$\Delta V_O/\Delta T$	$I_o=5\text{mA}$ $T_j=0 \sim 125^\circ\text{C}$		- 1.1		$\text{mV}/^\circ\text{C}$
Output Noise Voltage	V_{NO}	$f=10\text{Hz} \sim 100\text{KHz}$ $T_j=25^\circ\text{C}$		40		μV
Dropout Voltage	V_d	$I_o=1\text{A}$ $T_j=25^\circ\text{C}$		2.0		V
Quiescent Current	I_Q	$T_j=25^\circ\text{C}$			8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$V_i=7.0 \sim 25\text{V}$ $T_j=0 \sim 125^\circ\text{C}$			1.3	mA
		$I_o=5\text{mA} \sim 1\text{A}$			0.5	mA
Short Circuit Output Current	I_{SC}	$T_j=25^\circ\text{C}$		750		mA
Peak Output Current	I_{PK}	$T_j=25^\circ\text{C}$		2.2		A

LM7805Rev_1 180805E

LM7805
TO-220
Plastic Package

TO-220
Leaded Plastic
Package

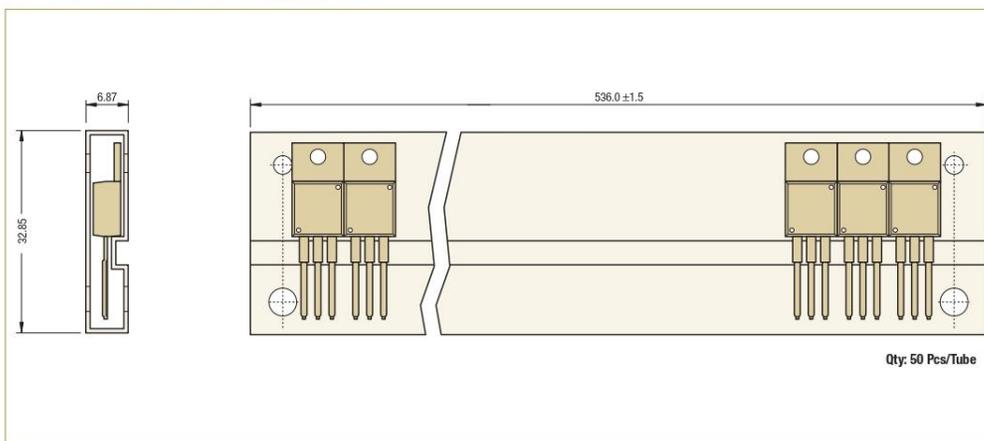


DIM	Min	Max	DIM	Min	Max
A	14.42	16.51	H	2.54	3.43
B	9.63	10.67	J	0.36	0.61
C	3.56	4.83	K	12.00	14.73
D	—	0.90	L	2.80	6.35
E	1.15	1.50	M	2.00	2.92
F	3.53	4.10	N	—	31.24
G	2.29	2.79	O	—	7°

Pin Configurations

Regulators Pin 1: In Pin 2: Ground Pin 3: Out

TO-220 Series Packaging Tube



Packaging dimensions, tube dimensions and quantity/tube are approximate and subject to change.

... Packaging Specifications

T & A: Tape and Ammo Pack; T & R: Tape and Reel; Bulk: Loose in Poly Bags; Tube: Tube and Carton; K: 1,000

Package / Case Type	Packaging Type	Std. Packing			Inner Carton				Outer Carton	
		Qty	Qty	Qty	Size L x W x H (cm)	Gross Weight (Kg)	Qty	Size L x W x H (cm)	Gross Weight (Kg)	
TO-220	Bulk	1,000	1K	19 x 19 x 8	2.0	10K	46 x 38 x 22	21.6		
	Tube	1,000 (50 pcs/tube)	1K	55 x 8 x 10	2.8	10K	55 x 35 x 27	28.3		

Anexo 13. Convertidor DC-DC conmutado XL4005 Step Down Buck.

XLSEMI

Datasheet

5A 300KHz 32V Buck DC to DC Converter

XL4005

Features

- Wide 5V to 32V Input Voltage Range
- Output Adjustable from 0.8V to 30V
- Maximum Duty Cycle 100%
- Minimum Drop Out 0.6V
- Fixed 300KHz Switching Frequency
- 5A Constant Output Current Capability
- Internal Optimize Power MOSFET
- High efficiency
- Excellent line and load regulation
- TTL shutdown capability
- EN pin with hysteresis function
- Built in thermal shutdown function
- Built in current limit function
- Built in output short protection function
- Available in TO-263 package

Applications

- LCD Monitor and LCD TV
- Digital Photo Frame
- Set-up Box
- ADSL Modem
- Telecom / Networking Equipment

General Description

The XL4005 is a 300KHz fixed frequency PWM buck (step-down) DC/DC converter, capable of driving a 5A load with high efficiency, low ripple and excellent line and load regulation. Requiring a minimum number of external components, the regulator is simple to use and include internal frequency compensation and a fixed-frequency oscillator.

The PWM control circuit is able to adjust the duty ratio linearly from 0 to 100%. An enable function, an over current protection function is built inside. When short protection function happens, the operation frequency will be reduced from 300KHz to 60KHz. An internal compensation block is built in to minimize external component count.



Figure1. Package Type of XL4005



Datasheet

5A 300KHz 32V Buck DC to DC Converter	XL4005
---------------------------------------	--------

Ordering Information

Order Information	Marking ID	Package Type	Packing Type Supplied As
XL4005E1	XL4005E1	TO263-5L	800 Units on Tape & Reel

XLSEMI Pb-free products, as designated with “E1” suffix in the par number, are RoHS compliant.

Absolute Maximum Ratings (Note1)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage	V_{in}	-0.3 to 35	V
Feedback Pin Voltage	V_{FB}	-0.3 to V_{in}	V
EN Pin Voltage	V_{EN}	-0.3 to V_{in}	V
Output Switch Pin Voltage	V_{Output}	-0.3 to V_{in}	V
Power Dissipation	P_D	Internally limited	mW
Thermal Resistance (TO263) (Junction to Ambient, No Heatsink, Free Air)	R_{JA}	30	°C/W
Operating Junction Temperature	T_J	-40 to 125	°C
Storage Temperature	T_{STG}	-65 to 150	°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	T_{LEAD}	260	°C
ESD (HBM)		2000	V

Note1: Stresses greater than those listed under Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect reliability.

5A 300KHz 32V Buck DC to DC Converter	XL4005
---------------------------------------	--------

XL4005 Electrical Characteristics

$T_a = 25^\circ\text{C}$; unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
System parameters test circuit figure4						
VFB	Feedback Voltage	$V_{in} = 5\text{V to } 32\text{V}, V_{out}=5\text{V}$ $I_{load}=0.5\text{A to } 5\text{A}$	0.776	0.8	0.824	V
Efficiency	η	$V_{in}=12\text{V}, V_{out}=5\text{V}$ $I_{out}=5\text{A}$	-	90	-	%

Electrical Characteristics (DC Parameters)

$V_{in} = 12\text{V}$, $GND=0\text{V}$, V_{in} & GND parallel connect a 220uf/50V capacitor; $I_{out}=500\text{mA}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$; the others floating unless otherwise specified.

Parameters	Symbol	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input operation voltage	V_{in}		5		32	V
Shutdown Supply Current	I_{STBY}	$V_{EN}=0\text{V}$		60	200	μA
Quiescent Supply Current	I_q	$V_{EN}=2\text{V},$ $V_{FB}=V_{in}$		3	5	mA
Oscillator Frequency	Fosc		240	300	360	KhZ
Switch Current Limit	I_L	$V_{FB}=0\text{V}$		8		A
EN Pin Threshold	V_{EN}	High (Regulator ON) Low (Regulator OFF)		1.4 0.8		V
EN Pin Input Leakage Current	I_H	$V_{EN}=2\text{V (ON)}$		1	15	μA
	I_L	$V_{EN}=0\text{V (OFF)}$		1	15	μA
Max. Duty Cycle	D_{MAX}	$V_{FB}=0\text{V}$		100		%

5A 300KHz 32V Buck DC to DC Converter

XL4005

Typical System Application for 24V ~ 12V/4A Version

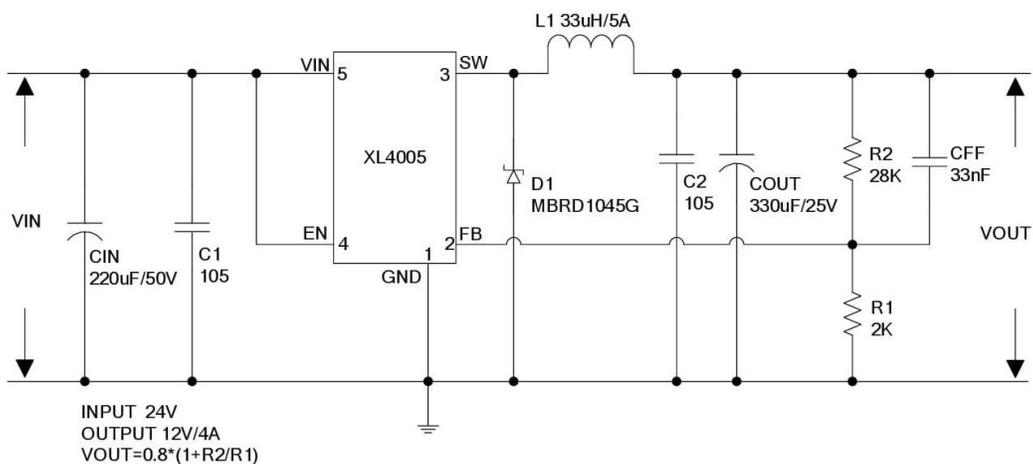


Figure6. XL4005 System Parameters Test Circuit (24V ~ 12V/4A)

Typical System Application for 24V ~ 5V/5A

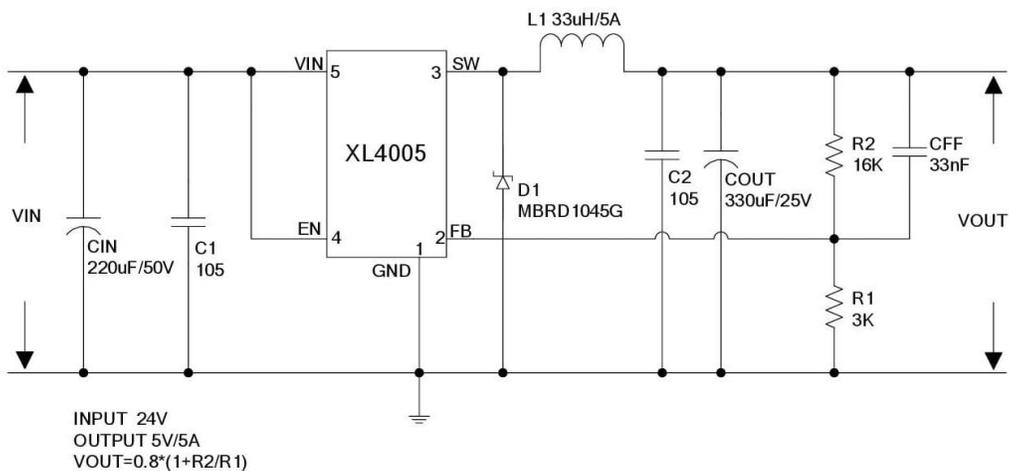


Figure7. XL4005 System Parameters Test Circuit (24V ~ 5V/5A)

Anexo 14. Sensor De Corriente Por Efecto Hall ACS – 712



ACS712

**Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor
with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kV_{RMS} minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



TÜV America
Certificate Number:
UBV 06 05 54214 010



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1 

Description

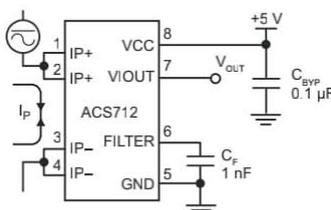
The Allegro® ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{IOUT(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sensed current, I_P , within the range specified. C_F is recommended for noise management, with values that depend on the application.

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Description (continued)

loss. The thickness of the copper conductor allows survival of the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 current sensor to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _P (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		-0.1	V
Output Voltage	V _{IOUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{RIOUT}		-0.1	V
Reinforced Isolation Voltage	V _{ISO}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T _A =25°C	2100	V
		Voltage applied to leadframe (Ip+ pins), based on IEC 60950	184	V _{peak}
Basic Isolation Voltage	V _{ISO(bsc)}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T _A =25°C	1500	V
		Voltage applied to leadframe (Ip+ pins), based on IEC 60950	354	V _{peak}
Output Current Source	I _{IOUT(Source)}		3	mA
Output Current Sink	I _{IOUT(Sink)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _P	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		-65 to 170	°C

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001



Allegro Microsystems, Inc.
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

ACS712**Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with
2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor****COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹** over full range of T_A , $C_F = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	V _{IOUT} to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	V _{IOUT} to GND	4.7	–	–	kΩ
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	mΩ
Rise Time	t_r	$I_P = I_P(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	–	5	–	μs
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$; I_P is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_P	–	1.5	–	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_P	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(Q)}$	Bidirectional; $I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	t_{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$, 20 A present on leadframe	–	35	–	μs
Magnetic Coupling ²			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance ³	$R_{F(INT)}$			1.7		kΩ

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient, T_A , and internal leadframe temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_J(\text{max})$, is not exceeded.

²1G = 0.1 mT.

³ $R_{F(INT)}$ forms an RC circuit via the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	T_A	E range	–40	–	85	°C
					Value	Units
Junction-to-Lead Thermal Resistance ²	$R_{θJL}$	Mounted on the Allegro ASEK 712 evaluation board			5	°C/W
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{θJA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board			23	°C/W

¹Additional thermal information is available on the Allegro website.

²The Allegro evaluation board has 1500 mm² of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.



Allegro Microsystems, Inc.
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

Anexo 15. Ficha técnica de batería de GEL de la marca MAXPOWER.

MAX POWER

MP200-12

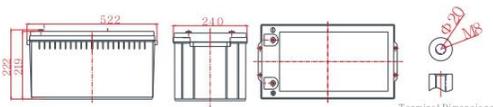


General Features

- › Nanosilica colloidal electrolyte and high tin positive plate alloy design to enhance battery performance
- › Relatively rich electrolyte, high temperature and low temperature performance is superior
- › Long cycle life, excellent deep cycle discharge ability
- › Excellent charge acceptance ability
- › Precision sealing technology
- › Long life



Dimension: 522(L)×240(W) ×219(H)×222(TH) Unit: mm



MP Series AGM-GEL battery

Applications

- › Solar / wind energy and other new energy storage
- › UPS/EPS
- › Power systems
- › Telecommunications system
- › Emergency lighting, Auto control system
- › Other general purpose

Specification

Nominal Voltage	12V
Nominal Capacity	200Ah
Design life	10 years
Terminal	M8
Approx. Weight	Approx 59.0kg (130lbs)
Container Material	ABS
Rated Capacity	200Ah 10Hour Rate (20.0A to 10.8V)
	158Ah 3Hour Rate (52.6A to 10.8V)
	128Ah 1Hour Rate (128A to 10.5V)
Internal resistance	Full charged at 25°C: 3.2 mΩ
Max. Discharge Current	2400A(5S)
Operating Temperature	Discharge: -40 ~60°C (-40 ~ 140°F)
	Charge: -20 ~50°C (-4 ~ 122°F)
	Storage: -20 ~50°C (-4 ~ 122°F)
Charge current:	Max. 50.0A ; Recom. 20.0A
Charge Method (25 °C)	Float Charge: 13.8-13.8V, recom. 13.5V (-18mV/ °C)
	Equalize charge: 13.8-14.1V, recom. 14.1V (-24mV/ °C)
	Cycle charge: 14.4-15.0V, recom. 14.4V (-30mV/ °C)
Self discharge	3% of capacity declined per month at 25°C

Constant Current Discharge Characteristics Unit: A (25°C, 77°F)

FV/Time	15min	30min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h
1.60V	367	223	132	75.7	54.9	36.9	24.2	20.7	10.9
1.65V	356	220	131	75.3	54.4	36.5	24.0	20.5	10.8
1.70V	348	216	130	74.7	53.6	36.1	23.8	20.3	10.7
1.75V	337	214	128	73.6	53.0	35.7	23.6	20.1	10.7
1.80V	314	205	125	72.2	52.6	34.8	23.4	20.0	10.6
1.85V	280	187	116	68.6	49.6	33.0	22.5	19.3	10.5

Constant Power Discharge Characteristics Unit: W/cell (25°C, 77°F)

FV/Time	15min	30min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h
1.60V	647	404	250	143	104	69.9	47.1	39.8	21.5
1.65V	636	400	248	143	103	69.5	46.7	39.4	21.4
1.70V	628	400	246	142	103	69.0	46.5	39.0	21.3
1.75V	624	398	244	141	102	68.6	46.1	38.6	21.2
1.80V	590	389	242	141	102	67.8	45.7	38.2	21.1
1.85V	527	357	225	135	96.6	64.7	44.2	37.6	20.9

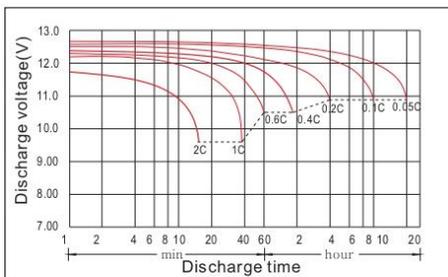
Disclaimer: Manufacturers have the right to self-modify the parameters of the product updates, please keep in touch with manufacturers to obtain the latest information.

MAX POWER

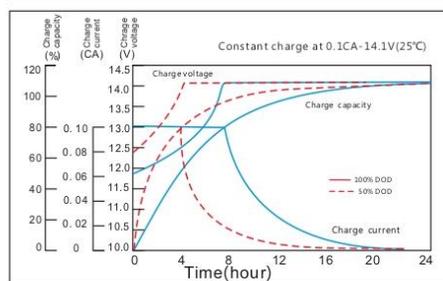
MP200-12

MP Series AGM-GEL battery

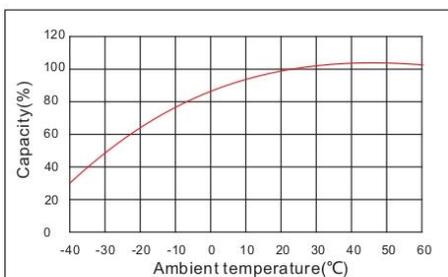
Discharge characteristic



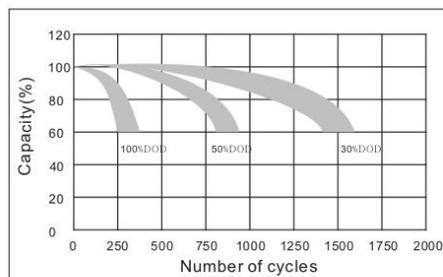
Charging characteristic



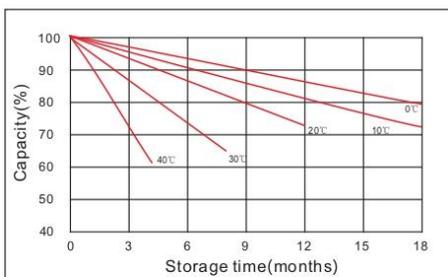
The effect of temperature on capacity



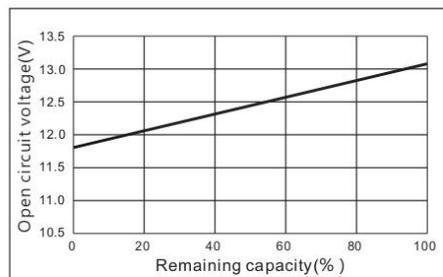
The effect of discharge depth on cycle life



Curves of self-discharge



Curves of open circuit voltage vs. capacity



 <p>UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</p>	CARTA DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO O TRABAJO DE APLICACIÓN – ASESOR(A)	CÓDIGO: AAC-BL-FR-032
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

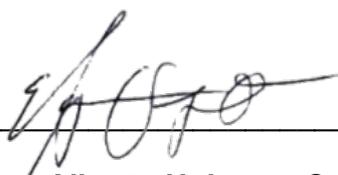
San Juan de Pasto, 7 de septiembre del 2022

Biblioteca
REMIGIO FIORE FORTEZZA OFM. CAP.
Universidad CESMAG
Pasto

Saludo de paz y bien.

Por medio de la presente se hace entrega del Trabajo de Grado / Trabajo de Aplicación denominado Almacenamiento de energía eléctrica mediante el uso de energía potencial gravitacional, presentado por el (los) autor(es) Mario Hernán De La Cruz Velásquez, y Ricardo Ordoñez Zúñiga del Programa Académico Ingeniería Electrónica al correo electrónico trabajosdegrado@unicesmag.edu.co. Manifiesto como asesor(a), que su contenido, resumen, anexos y formato PDF cumple con las especificaciones de calidad, guía de presentación de Trabajos de Grado o de Aplicación, establecidos por la Universidad CESMAG, por lo tanto, se solicita el paz y salvo respectivo.

Atentamente,



Edgar Alberto Unigarro Calpa
CC. 1085266351
Ingeniería electrónica
CEL. 3182969880
eaunigarro@unicesmag.edu.co

 UNIVERSIDAD CESMAG <small>NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</small>	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

INFORMACIÓN DEL (LOS) AUTOR(ES)	
Nombres y apellidos del autor: Mario Hernán De La Cruz Velásquez	Documento de identidad: 1085335323
Correo electrónico: Delacruzmarioc.v@gmail.com	Número de contacto: 3183831189
Nombres y apellidos del autor: Ricardo Ordoñez Zúñiga	Documento de identidad: 1107085922
Correo electrónico: ricardoez19@gmail.com	Número de contacto: 3106534310
Nombres y apellidos del asesor: Edgar Alberto Unigarro Calpa	Documento de identidad: 1085266351
Correo electrónico: eaunigarro@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 3182969880
Título del trabajo de grado: Almacenamiento de energía eléctrica mediante el uso de energía potencial gravitacional.	
Facultad y Programa Académico: Facultad De Ingeniería - Programa De Ingeniería Electrónica.	

En mi (nuestra) calidad de autor(es) y/o titular (es) del derecho de autor del Trabajo de Grado o de Aplicación señalado en el encabezado, confiero (conferimos) a la Universidad CESMAG una licencia no exclusiva, limitada y gratuita, para la inclusión del trabajo de grado en el repositorio institucional. Por consiguiente, el alcance de la licencia que se otorga a través del presente documento, abarca las siguientes características:

- a) La autorización se otorga desde la fecha de suscripción del presente documento y durante todo el término en el que el (los) firmante(s) del presente documento conserve(mos) la titularidad de los derechos patrimoniales de autor. En el evento en el que deje(mos) de tener la titularidad de los derechos patrimoniales sobre el Trabajo de Grado o de Aplicación, me (nos) comprometo (comprometemos) a informar de manera inmediata sobre dicha situación a la Universidad CESMAG. Por consiguiente, hasta que no exista comunicación escrita de mi(nuestra) parte informando sobre dicha situación, la Universidad CESMAG se encontrará debidamente habilitada para continuar con la publicación del Trabajo de Grado o de Aplicación dentro del repositorio institucional. Conozco(conocemos) que esta autorización podrá revocarse en cualquier momento, siempre y cuando se eleve la solicitud por escrito para dicho fin ante la Universidad CESMAG. En estos eventos, la Universidad CESMAG cuenta con el plazo de un mes después de recibida la petición, para desmarcar la visualización del Trabajo de Grado o de Aplicación del repositorio institucional.
- b) Se autoriza a la Universidad CESMAG para publicar el Trabajo de Grado o de Aplicación en formato digital y teniendo en cuenta que uno de los medios de publicación del repositorio institucional es el internet, acepto(amos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación circulará con un alcance mundial.
- c) Acepto (aceptamos) que la autorización que se otorga a través del presente documento se realiza a título gratuito, por lo tanto, renuncio(amos) a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y/o cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente autorización y de la licencia o programa a través del cual sea publicado el Trabajo de grado o de Aplicación.

 UNIVERSIDAD CESMAG <small>NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MIMEDICACIÓN</small>	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

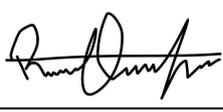
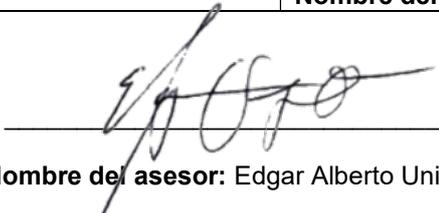
- d) Manifiesto (manifestamos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación es original realizado sin violar o usurpar derechos de autor de terceros y que ostento(amos) los derechos patrimoniales de autor sobre la misma. Por consiguiente, asumo(asumimos) toda la responsabilidad sobre su contenido ante la Universidad CESMAG y frente a terceros, manteniéndola indemne de cualquier reclamación que surja en virtud de la misma. En todo caso, la Universidad CESMAG se compromete a indicar siempre la autoría del escrito incluyendo nombre de(los) autor(es) y la fecha de publicación.
- e) Autorizo(autorizamos) a la Universidad CESMAG para incluir el Trabajo de Grado o de Aplicación en los índices y buscadores que se estimen necesarios para promover su difusión. Así mismo autorizo (autorizamos) a la Universidad CESMAG para que pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

NOTA: En los eventos en los que el trabajo de grado o de aplicación haya sido trabajado con el apoyo o patrocinio de una agencia, organización o cualquier otra entidad diferente a la Universidad CESMAG. Como autor(es) garantizo(amos) que he(hemos) cumplido con los derechos y obligaciones asumidos con dicha entidad y como consecuencia de ello dejo(dejamos) constancia que la autorización que se concede a través del presente escrito no interfiere ni transgrede derechos de terceros.

Como consecuencia de lo anterior, autorizo(autorizamos) la publicación, difusión, consulta y uso del Trabajo de Grado o de Aplicación por parte de la Universidad CESMAG y sus usuarios así:

- Permiso(permitimos) que mi(nuestro) Trabajo de Grado o de Aplicación haga parte del catálogo de colección del repositorio digital de la Universidad CESMAG, por lo tanto, su contenido será de acceso abierto donde podrá ser consultado, descargado y compartido con otras personas, siempre que se reconozca su autoría o reconocimiento con fines no comerciales.

En señal de conformidad, se suscribe este documento en San Juan de Pasto a los 7 días del mes de septiembre del año 2022.

	
Nombre del autor: Mario Hernán De La Cruz	Nombre del autor: Ricardo Ordoñez
Nombre del autor:	Nombre del autor:
 Nombre del asesor: Edgar Alberto Unigarro Calpa	